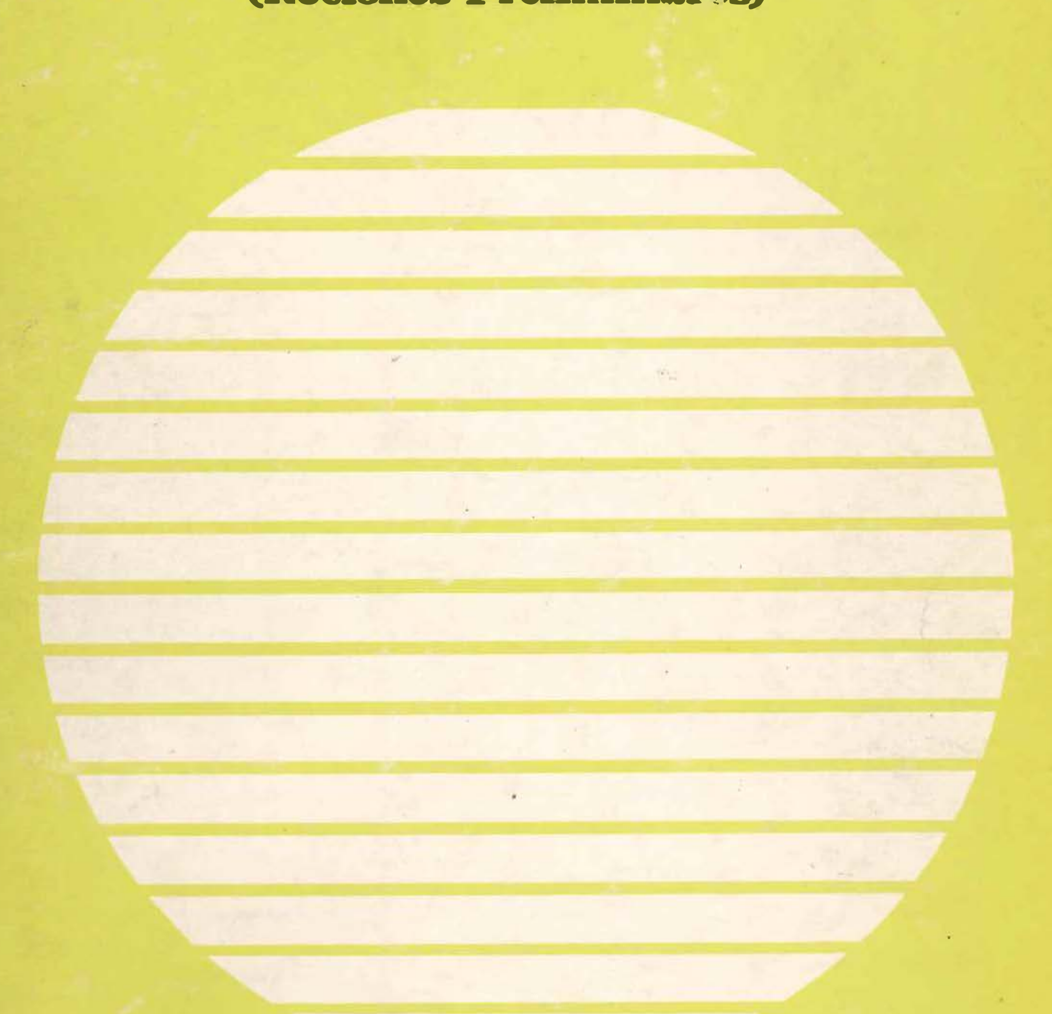
eli de
gortari

EL METODO DE LAS CIENCIAS
(Nociones Preliminares)



TRATADOS Y MANUALES GRIJALBO

El doctor Eli de Gortari es uno de los científicos mexicanos en actividad docente y creadora de más reconocido prestigio en nuestro país y en el extranjero. Doctor en Filosofía y Maestro en Filosofía, es a la vez Ingeniero Municipal y Sanitario. Investigador Titular de Tiempo Completo en el Centro de Estudios Filosóficos (desde 1954), imparte en la U. N. A. M. las cátedras de Lógica y de Filosofía de la Ciencia en la Facultad de Filosofía y Letras, y de Teoría Económica y Social del Marxismo en la Escuela Nacional de Economía.

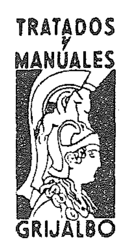
Ex-rector de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo y ex-Director Interino del Centro de Estudios Filosóficos, ha ejercido la docencia en otros centros de educación superior, incluido el Instituto Politécnico Nacional, y ha asistido a numerosos congresos científicos internacionales para prestigiar con sus trabajos y comunicaciones la ciencia mexicana.

Numerosos artículos científicos, notas bibliográficas y traducciones del francés y del inglés han enriquecido la bibliografía científica mexicana merced a su pluma, y su talento creador encuentra su expresión en diversas obras, algunas de las cuales han sido traducidas a otras lenguas. Entre estas obras destacan: *La Ciencia de la Lógica*, 1950; *Introducción a la Lógica Dialéctica*, primera edición, 1957, (Grijalbo, 1979); *La Ciencia en la Reforma*, 1957; *La Ciencia en la Historia de México*, 1963; *Dialéctica de la Física*, 1964; (Grijalbo 1979); *Lógica General*, 1965, segunda edición, 1968, *Iniciación a la Lógica*; 1969, *Método de las ciencias. Nociones preliminares* (Grijalbo, 1979), *Metodología: una discusión y otros ensayos sobre el método* (Grijalbo, 1979).

Eli de Gortari

EL METODO DE LAS CIENCIAS

Nociones Preliminares



EDITORIAL GRIJALBO, S. A.
México, D. F.

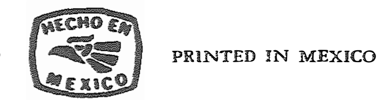
EL METODO DE LAS CIENCIAS
NOCIONES PRELIMINARES

EDITORIAL GRIJALBO, S. A.
Av. Granjas 82, México 16, D. F.

PRIMERA EDICION

ISBN 968-419-078-6

IMPRESO EN MÉXICO



PRINTED IN MEXICO

ÍNDICE GENERAL

I. CARACTERIZACIÓN

II. ESTRUCTURA

III. FUNCIONES

IV. METODIZACIÓN

A mi hija
REBECA

Prefacio

Esta obra ha sido preparada con especial cuidado para servir como iniciación al estudio del método científico. De un modo particular, puede cumplir mejor ese propósito al ser adoptada como libro de texto y, por consiguiente, ser manejada como referencia para la impartición de un curso al nivel de la enseñanza media superior o, también para la parte introductoria de un curso al nivel de licenciatura. El autor es investigador titular de tiempo completo en el Instituto de Investigaciones Filosóficas de la Universidad Nacional Autónoma de México. Para redactar esta obra ha tomado en cuenta los desarrollos logrados en sus investigaciones y en sus libros anteriores de lógica y de metodología. También ha consultado una extensa bibliografía y hemerografía con respecto a la materia. Igualmente, ha recogido la riquísima experiencia de los muchos cursos y seminarios sobre metodología que ha impartido a los niveles de licenciatura, maestría, doctorado y postdoctorado en los últimos 26 años, en un gran número de escuelas, facultades y centros, para las más variadas especialidades: filosofía, ciencias sociales, biología, química, medicina, ingeniería, economía, arqueología, historia, antropología, administración, etnología, física y matemáticas.

La manera como se procede a realizar una investigación científica, o sea, el método que se sigue para efectuarla, es algo que necesitamos aprender. Desde luego, no falta quien considere que el único aprendizaje posible del método consiste en participar sin más en la actividad científica, primero bajo la guía y luego al lado de un buen maestro, para ir adquiriendo prácticamente el conocimiento de las operaciones que se ejecutan y los planteamientos que se hacen. Tampoco deja de haber quienes estiman, al contrario, que el método estriba en un conjunto formalizado de preceptos, que podemos aprender y memorizar, para aplicarlo después a cualquiera investigación, con la seguridad de tener éxito. Sin embargo, ni una ni otra de esas maneras de aprender el método es recomendable o siquiera factible. La primera, porque se lleva mucho tiempo, comúnmente es azarosa y, en la mayoría de los casos, resulta deficiente. La segunda, sencillamente porque no existe ese conjunto formalizado de preceptos, ni puede existir cosa semejante. Entonces, lo que podemos hacer y, a la vez, aparece enteramente necesario, es estudiar el método científico de un modo sistemático, tanto en su perspectiva general como en sus elementos específicos que son comunes a toda investigación. A ese propósito viene a coadyuvar justamente esta obra. Por supuesto, no pretendemos que el método se pueda aprender cabalmente a través de la lectura de un texto, ni siquiera llevando un curso adecuado con un buen maestro, que se apoye en dicho texto. En todo caso, solamente se puede aprender propiamente el método y, sobre todo, adquirir destreza

en su manejo, cuando el estudio respectivo se completa con la práctica de la investigación misma. En último término, esa es la mejor manera de aprender, inclusive en el caso de las matemáticas. Por otra parte, la importancia que tiene el aprendizaje del método científico no se limita a quienes van a dedicarse a la investigación, sino que es igualmente imprescindible para la comprensión y el estudio de cualquier disciplina científica o técnica y, sin duda, para desempeñar cualquiera otra actividad; por la simple y sencilla razón de que el método científico nos ayuda a pensar mejor y a planear nuestras acciones de un modo más apegado a la realidad.

En la obra entera se usa un lenguaje directo y accesible, con expresiones concisas y precisas, en las que se trata de comunicar claramente el contenido, sin exigir un gran esfuerzo del lector. Se ha procurado utilizar términos conocidos y de uso corriente, al nivel de los estudiantes de enseñanza media superior. Cada vez que se introduce un término no usual, se le define inmediatamente con pulcritud, para poderlo manejar después con facilidad. Se ha tenido un cuidado esmerado en tratar de lograr que el empleo de los términos sea consecuente y que ocurra sucesivamente, de tal manera que la utilización de cada uno de ellos sea posterior a su introducción. No obstante, en algunos casos ha sido imposible evitar el empleo de un término antes de haberlo introducido lógicamente. En tales casos, se recomienda al lector que, en caso necesario, vaya desde luego al párrafo en que se introduce, para comprenderlo. Pero, también hay otros casos en que no damos explícitamente el significado de un término. Entonces, simplemente recomendamos al lector que recurra a un diccionario de la lengua castellana. La razón de lo antes dicho se encuentra en el propósito de no hacer pesada y tediosa la lectura del libro, sino, por lo contrario, fluida y agradable. Las explicaciones van acompañadas de ejemplos que las ilustran y, según lo esperamos, las hacen más inteligibles.

En la primera parte, se hace una caracterización del conocimiento científico, poniendo de relieve cómo el método es creado y se desarrolla en la propia actividad de la ciencia, de tal manera que es también un conocimiento que avanza continuamente. Luego se determina el carácter instrumental del método, diferenciándolo clara y distintamente de las técnicas; y se presenta un cuadro general del proceso que se sigue en la investigación científica. En seguida, se examinan rigurosamente algunas nociones críticas de la ciencia, como son la abstracción, la conceptuación, la definición y el descubrimiento de las categorías. Después, se introducen las fórmulas elementales: leyes, teorías, principios, postulados, fundamentos, proposiciones, teoremas y empiremas. En la segunda parte, se hace un análisis detallado del marco de referencia, las hipótesis, las explicaciones y las predicciones. La tercera parte trata de las funciones principales que constituyen el dominio de las operaciones metódicas y de las reglas que se aplican cuando ejecutamos una observación, un experimento y un razonamiento. Finalmente, la cuarta parte se refiere a la metodización de los razonamientos discursivos, estableciendo las condiciones necesarias y suficientes para realizar inferencias concluyentes o hipotéticas de carácter deductivo, inductivo, transductivo y analógico.

El autor expresa su agradecimiento a todos los colegas y alumnos que le hicieron sugestiones muy valiosas y discutieron con calor y en forma rigurosa, los diversos tópicos que aquí se exponen.

E. de G.

Marzo de 1978.

I. CARACTERIZACION

1. CONOCIMIENTO CIENTÍFICO

El conocimiento científico es el resultado de una actividad humana de carácter social, que se realiza colectivamente, y de cuyos resultados se desprenden muchas aplicaciones prácticas, las cuales contribuyen a la satisfacción de nuestras necesidades y al mejoramiento de las condiciones en que vivimos. Quienes trabajan en el campo de la ciencia son los investigadores científicos, también llamados simplemente investigadores o científicos a secas. En su actividad científica, los investigadores ejecutan muchas operaciones manuales y mentales, mediante las cuales descubren la existencia de cosas nuevas, conocen sus distintas propiedades, determinan sus relaciones con otras cosas, fijan su composición y los vínculos entre sus elementos componentes, comprueban las conclusiones previstas o averiguan la necesidad de modificar dichas conclusiones y, lo que es más importante, encuentran las maneras de intervenir en el desarrollo de los procesos naturales y sociales, para cambiar consecuentemente sus efectos. Las operaciones que realizan los investigadores científicos son similares a las que practican diariamente los otros hombres y mujeres; aunque con la diferencia notable de que las actividades científicas se llevan al cabo con mayor rigor y en condiciones determinadas con precisión.

La actividad científica se desarrolla dentro de un marco de referencia bien definido, tiene una estructura interna determinada y utiliza procedimientos estrictos. Y, por cierto, tanto el marco de referencia, como la estructura y los procedimientos que emplea la ciencia, han sido descubiertos o creados, o bien, descubiertos y creados a la vez, como resultado de la propia actividad científica. Por lo tanto, constituyen un producto histórico de la misma investigación científica y, además, están siendo profundizados, ampliados y mejorados continuamente, al paso y medida en que avanza el conocimiento. Entonces, para estar en buenas condiciones de aprender primero lo que otros saben y de poder emprender después, por nuestra cuenta, investigaciones que nos conduzcan a la adquisición de conocimientos nuevos o, en otros casos, a la aplicación técnica de los resultados de la ciencia, es necesario tener una comprensión clara del marco en que se desenvuelve la actividad científica, lo mismo que de su estructura, de las funciones operantes entre sus elementos y de los procedimientos que se practican en ella.

La ciencia es la explicación objetiva y racional del universo. Es una explicación, porque describe las diversas formas en que se manifiestan los procesos existentes, distingue las fases sucesivas y coexistentes observadas en su desarrollo, desentraña sus enlaces internos y sus conexiones con otros procesos, pone al descubierto las interacciones que se ejercen entre unos y otros, determina las condiciones que son necesarias para que ocurra cada

proceso y suficientes para llevarlo a efecto y, en fin, encuentra las posibilidades y los medios convenientes para hacer más eficaz la intervención humana en el curso de los procesos, ya sea acelerándolos, retardándolos, intensificándolos, atenuándolos o modificándolos de varias maneras.

La explicación científica es objetiva, porque representa las formas en que los procesos manifiestan su existencia. Tal existencia de los procesos que la ciencia estudia, no depende de las sensaciones, ni tampoco de la conciencia, el pensamiento, las pasiones, la voluntad, la imaginación, el conocimiento o la ignorancia de los sujetos que los conocen. Se trata, pues, de una existencia propia, tal como la que tiene un hijo con respecto a sus padres, independientemente de que sean éstos quienes lo hayan engendrado. Entonces, la explicación científica se refiere a procesos que existen objetivamente y, a la vez, es ella misma objetiva, en tanto que refleja con fidelidad cada vez más aproximada a los procesos existentes y su comportamiento. Por eso es que todo conocimiento puede ser verificado y confirmado en cualquier momento y por parte de cualquiera persona.

La explicación científica es racional, porque establece una imagen racional de cada uno de los procesos que llega a ser conocido, lo mismo que cada una de sus propiedades y de sus interrelaciones con los otros procesos. Y, luego, la explicación científica encuentra las conexiones racionales que son posibles entre todos y cada uno de esos conocimientos adquiridos, construyendo así una densa red de vínculos, implicaciones y otros tipos de relaciones. Después, dichas conexiones racionales son sometidas a la prueba decisiva de la experiencia, ajustándolas, modificándolas y afinándolas cuantas veces se hace necesario, hasta conseguir que representen los enlaces que existen efectivamente entre los procesos reales. Cuando eso se consigue, y sólo entonces, las conexiones racionales se convierten en conocimientos objetivos.

El universo, objeto único que la ciencia descubre y explica, es el conjunto total de los procesos que existen de manera independiente a cualquier sujeto y al modo como éste los conozca, los ignore o se los imagine. En ese conjunto total de lo que existe objetivamente, está incluido el hombre como una de sus partes integrantes. También están comprendidos los diversos nexos existentes entre el hombre y los procesos naturales, al igual que las relaciones sociales establecidas entre los hombres. Por consiguiente, el universo es la fuente inagotable del conocimiento científico y, a la vez, la base ineludible para su comprobación. El universo en su conjunto tiene también una existencia objetiva, al igual que todos y cada uno de los procesos que lo integran. Las otras propiedades generales del universo —además de su existencia objetiva— se han puesto al descubierto y se siguen determinando con el avance del conocimiento científico.

Las características antes señaladas se refieren tanto al conocimiento científico en su conjunto, como a cada una de las ciencias en particular. Por lo tanto, cada disciplina científica se ocupa de estudiar las diversas manifestaciones del universo, para determinar precisamente las propiedades de los procesos existentes y explicar de manera objetiva y racional su comportamiento. En particular, cada ciencia concentra su interés en ciertos grupos de procesos, o bien, en algunas propiedades observadas en todos los procesos del universo. De esa manera, cada disciplina científica estudia al universo específicamente, con respecto a determinados procesos o únicamente en relación con ciertos aspectos de su existencia. Entonces, el dominio propio de cada ciencia está constituido por la totalidad de aquellos procesos, o de tales

propiedades, que se encuentran incluidos dentro de esa consideración delimitada particularmente.

Los dominios particulares de las ciencias corresponden, en algunos casos, a los distintos niveles de la existencia. En otros casos, se refieren a un grupo de propiedades universales de la existencia. Otras veces, el dominio de una disciplina está definido por alguna de las actividades humanas. Y, casi siempre, dentro de cada ciencia resulta pertinente establecer subdvisiones, de acuerdo con las características de los procesos estudiados, que constituyen las ramas de la ciencia en cuestión. Lo que no se puede hacer es establecer arbitrariamente un dominio científico y, por ende, nunca se ha creado una disciplina obedeciendo simplemente a la voluntad de uno o de varios investigadores.

De acuerdo con los conocimientos actuales, podemos considerar esquemáticamente varios niveles de la existencia. El más profundo de ellos es el constituido por la estructura interna de las llamadas partículas elementales, esto es, por los *quarks* y sus interacciones. Luego viene el nivel formado por las partículas elementales (fotones, leptones, electrones, mesones, protones, neutrones, hiperones) en estado libre, es decir, cuando no forman parte de alguna estructura más compleja. En seguida tenemos el nivel del núcleo atómico, en donde ocurren procesos con energías elevadísimas dentro de distancias sumamente pequeñas. Después vienen los átomos, de los cuales forman parte los núcleos como partículas indivisas, en cuyos procesos se encuentran implicadas energías menos elevadas y distancias algo mayores. A continuación tenemos los procesos químicos, que comprenden las reacciones entre los átomos como partículas indivisibles y entre los cuales se produce la inmensa variedad de composiciones y desintegraciones moleculares. Luego tenemos los movimientos y las transferencias de energía que tienen lugar entre las moléculas, constituyendo los procesos termodinámicos. Después vienen los procesos mesocósmicos, o de dimensiones comparables a las humanas, que son estudiados por la física clásica. Sigue el nivel de los procesos macrocósmicos, en los cuales intervienen energías, masas, velocidades y distancias astronómicas, integrando el dominio de la física relativista. En otro sentido, desprendiéndose también del nivel de las moléculas, se hallan los procesos biológicos, que se producen a partir de ciertas síntesis químicas complejas y que incluyen la reproducción, la integración de organismos y su evolución. En ese mismo sentido, tenemos finalmente los procesos sociales, que se inician en una etapa elevada de la organización biológica, mediante la transformación de la evolución en desarrollo histórico y social humano.

Cada uno de esos niveles se encuentra gobernado por un grupo específico de leyes, aunque todos se encuentran vinculados por una multitud de regularidades comunes, entre las cuales figuran algunas que se cumplen en todos los niveles, como ocurre con la conservación de la energía. También, cada uno de los niveles antes mencionados, exceptuando los dos últimos, constituye, el dominio de estudio de una física, incluyendo a la química que, por razones históricas, conserva ese nombre. Tenemos así: la física de los *quarks*, la física de las partículas elementales, la física nuclear, la física atómica, la química o física molecular, la termodinámica, la física clásica y la física relativista. El penúltimo nivel al que nos hemos referido, corresponde al dominio de la biología y, el último, es el dominio de las ciencias sociales.

Los niveles de la existencia se encuentran acotados dimensionalmente, de una manera bastante precisa. Lo cual quiere decir que, dentro de cada

rango de dimensiones espaciales, existe una clase de procesos cuyo comportamiento está gobernado por un grupo determinado de leyes. Así, por ejemplo, los organismos vivos ocupan el rango que abarca desde los microbios más pequeños, que miden 1 micra = 0.0001 centímetros que, en la notación más usada ahora, basada en las potencias del número 10, equivale a 10^{-4} cm; hasta los animales más grandes, como son las ballenas azules, que llegan a medir 60 metros, correspondiendo ese rango a las decenas de metros, o sea: 10 metros = 10^{3} cm = 1000 centímetros. Una gran parte de las otras propiedades, no espaciales, de los procesos también se encuentran confinadas a las dimensiones del rango correspondiente; como sucede, por ejemplo, con la energía de cohesión nuclear —la mayor en magnitud entre todas las energías existentes— que solamente ejerce su acción a las distancias comprendidas en el interior del núcleo atómico. Por supuesto, hay otras propiedades de los procesos que trascienden los límites del rango de dimensiones espaciales correspondiente. Pues bien, las dimensiones de los diferentes niveles de la existencia, se encuentran delimitados de la manera siguiente:

10^{-100}	10^{-50} cm:	interior de las partículas elementales
	10^{-14} cm:	partículas elementales en libertad
10^{-13}	10^{-12} cm:	núcleos atómicos
	10^{-8} cm:	átomos
	10^{-7} cm:	moléculas grandes
	10^{-6} cm:	moléculas gigantescas
	10^{-5} cm:	virus
10^{-4}	a 10^{3} cm:	organismos vivos
	(10^{2} cm:	humanos)
10^{8}	a 10^{10} cm:	planetas
	(10^{9} cm:	Tierra)
10^{9}	a 10^{14} cm:	estrellas
	(10^{11} cm:	Sol)
	10^{15} cm:	sistemas planetarios
10^{22}	a 10^{23} cm:	galaxias
	10^{24} cm:	grupos de galaxias

Desde el punto de vista biológico, el hombre se separó ostensiblemente de las otras especies animales, principalmente por su posición erecta, la especialización de sus manos y su lenguaje articulado. En rigor, desde la época en que se diferenciaron nuestros primeros ancestros propiamente humanos, quedó suspendida la evolución somática o, al menos, dejaron de producirse en su cuerpo cambios suficientemente importantes para dejar huellas notables en su esqueleto. Entonces, justamente, la evolución se transformó de biológica en social. Desde luego, los cambios biológicos que contribuyeron al desarrollo humano, se encuentran conectados íntimamente entre sí —como ocurre, por ejemplo, de manera tan notable entre el cerebro y la mano— y, a la vez, se han afinado considerablemente, y de un modo recíproco, con los adelantos culturales de la sociedad.

Con el desarrollo de la actividad de sus manos, el hombre pudo fabricar las herramientas para su trabajo, cada una de las cuales reproduce y amplifica algunas de las operaciones que aquellas ejecutan. Sólo que, como tales artefactos no forman parte integrante del cuerpo humano, no pudieron hacerse hereditarios en el sentido biológico y, por lo tanto, la habilidad necesaria para elaborarlos y utilizarlos tuvo que ser transmitida como una

experiencia colectiva, primero a través del ejemplo directo y, después, conjugando el precepto con el aprendizaje práctico. Se trata de una tradición que tiene que ser adquirida socialmente por cada hombre y que se enriquece de continuo. La comunicación por medio del lenguaje permite acumular los conocimientos adquiridos y los hace susceptibles de ser desarrollados a través de la abstracción y el razonamiento. A su vez, por medio de la razón se anticipan muchos conocimientos, que luego son verificados en la experiencia y, también, se formulan planes y se hacen proyectos para la invención de otros artefactos, que después se tienen que probar en la práctica.

En el transcurso de su evolución social, el hombre consiguió elaborar nuevos utensilios para mejorar su trabajo, estrechó su actuación en compañía y la cooperación con sus semejantes, llegó a fabricar herramientas para hacer herramientas y empezó a desarrollar el arte, que en un principio tuvo implicaciones eminentemente prácticas, Así, el hombre continuó impulsando el proceso de hacerse por sí mismo, afirmando y desenvolviendo su humanidad. Sin embargo, durante un largo periodo, se contentó con seguir recolectando lo que estaba «al alcance de su mano», aunque agregando algo más: lo que quedaba «al alcance de sus herramientas». Solamente con la siembra, el cultivo y el logro de un mayor rendimiento de las plantas, a través de su selección artificial y de su cuidado esmerado, junto con la domesticación de algunas especies animales y su consiguiente aprovechamiento y disponibilidad, fue como el hombre pudo introducir un cambio fundamental en su actitud hacia la naturaleza y en el carácter de su actividad práctica. De esa manera, el hombre inició el proceso de imprimir su propio sello a la naturaleza, haciéndola comportarse a la medida de sus necesidades y empezando realmente a humanizarla. Por medio de la actividad de su trabajo en cooperación es como el hombre ha logrado tranformar a la naturaleza y lo sigue haciendo, de tal suerte que el carácter y la magnitud de los cambios producidos por obra del hombre, solamente podrán desaparecer con la destrucción de la Tierra.

La naturaleza coincide, en cierto modo, con el universo entero, en tanto que comprende a todo lo que existe objetivamente sin haber sufrido perturbación o cambio por obra humana. Por ende, el hombre es parte integrante de la naturaleza, en lo que concierne a sus caracteres biológicos. Entonces, son ciencias naturales las disciplinas que estudian a la naturaleza en sus diversos niveles y en sus distintos aspectos. En cambio, el estudio de la sociedad en todas las formas y aspectos de su organización y su desarrollo, lo mismo que de las diversas actividades que el hombre realiza y de los productos resultantes de esas actividades, junto con la historia de la propia sociedad en sus múltiples aspectos, constituye el dominio de las ciencias sociales. En otras palabras, todos los procesos que existen objetivamente y han sufrido alguna transformación por obra de la actividad humana, tienen carácter social y son objeto de estudio de alguna ciencia social.

Un ejemplo de ciencia natural lo tenemos en la biología, que estudia los organismos vivos y sus actividades, comprendiendo sus formas, sus estructuras, su fisiología, su identidad específica, su metabolismo, su crecimiento, su reproducción, su envejecimiento, su muerte, su distribución geográfica, las relaciones e interacciones entre unos organismos y otros, su adaptabilidad al medio en que viven y las modificaciones que producen en su ambiente, el origen de la vida, las características de los organismos que vivieron en otros periodos geológicos, la evolución de las especies y el funcionamiento de la herencia. Por su parte, la economía es la ciencia social que estudia la producción y la distribución de los bienes y servicios, que

permiten la satisfacción de las necesidades humanas y el desarrollo de la sociedad. Dichos bienes y servicios son producidos como resultado de una actividad humana, que es el trabajo realizado conforme a un sistema determinado de relaciones sociales de producción. En rigor, el dominio de la economía está constituido por la sociedad en su conjunto, considerada precisamente al nivel de las relaciones sociales de producción, que constituyen su infraestructura y las cuales se desarrollan y se transforman históricamente.

En la geometría, que se ocupa de estudiar al espacio en sus diversos aspectos y tranformaciones, tenemos el ejemplo de una ciencia que investiga un grupo de propiedades que son comunes a todos los procesos y que se manifiestan, aunque con diversas modalidades y matices diferentes, en todos los niveles de la existencia. En la cibernética, que estudia la comunicación y el control, tenemos una ciencia cuyo dominio es una síntesis de disciplinas biológicas, matemáticas, físicas y sociales. La comunicación es la transmisión de información. La información está constituida por cualquier señal, mensaje, aviso, permisión, orden o prohibición. El control consiste en la transferencia de información con la intención de producir ciertos cambios predeterminados entre sistemas relativamente aislados. Un sistema relativamente aislado es el que recibe influencia del resto del universo, pero sólo a través de ciertas vías específicas llamadas entradas y que, a la vez, ejerce influencia sobre el resto del universo, pero también únicamente a través de ciertas vías específicas llamadas salidas. Los sistemas entre los cuales se ejerce control pueden ser organismos vivos, mecanismos de cualquiera índole y organizaciones sociales.

2. *MÉTODOS Y TÉCNICAS*

El método es, literal y etimológicamente, el camino que conduce al conocimiento. El método es el camino por el cual se llega a un cierto resultado en la actividad científica, inclusive cuando dicho camino no ha sido fijado por anticipado de manera deliberada y reflexiva. «El hombre se distingue del topo en que, antes de construir, diseña los planos de su actividad». Para poder actuar con éxito, el investigador tiene que proyectar previamente su trabajo, incluyendo el procedimiento para ejecutarlo. Procedimiento es la acción de proceder; y, a su vez, proceder es pasar a poner en ejecución una actividad a la cual antecedieron algunos esfuerzos realizados y, también, es continuar en la ejecución de alguna actividad que requiere cierto orden y tiene que llevarse al cabo consecutivamente. El método es, entonces, el procedimiento planeado que se sigue en la actividad científica para descubrir las formas de existencia de los procesos, distinguir las fases de su desarrollo, desentrañar sus enlaces internos y externos, esclarecer sus interacciones con otros procesos, generalizar y profundizar los conocimientos adquiridos de este modo, demostrarlos luego con rigor racional y conseguir después su comprobación en el experimento y con la técnica de su aplicación.

El método es el instrumento de la actividad científica, esto es, aquello de que nos servimos para conseguir el conocimiento de la naturaleza y de la sociedad. En la actividad científica, los resultados dependen directamente del método empleado. Un método riguroso nos conduce a resultados precisos; en cambio, un método vago sólo nos puede llevar a resultados confusos. Pero, es indispensable que el método sea el instrumento adecuado para el caso específico de que se trate y que, además de aplicarse con rigor, lo sea con habilidad, inteligencia e imaginación. Tal como ocurre con cualquiera otro instrumento, lo principal es saber manejar el método con tino y destreza. Jamás se debe perder de vista que el método científico es un instrumento de trabajo y que su finalidad práctica impone la necesidad de tener en cuenta siempre las posibilidades de su aplicación. Cuando se participa en la ejecución de una actividad científica, se advierte que, por lo que se refiere al método, nunca se trata de un camino directo, que la ruta trazada tampoco es inmutable y que es imposible tener proyectado el camino a seguir en todos sus detalles. En cierto modo, el método es un camino que se va haciendo o que, cuando menos, se va completando al recorrerlo para realizar cada investigación específica.

El instrumento que la ciencia utiliza para seguir adelante, ha sido forjado por la propia ciencia. En efecto, el método científico es también un conocimiento adquirido como resultado de la actividad científica. Por lo tanto, es un producto de la experiencia acumulada, racionalizada y pro-

bada por la humanidad en el curso histórico del desarrollo de la ciencia. El método se distingue de los otros conocimientos científicos por la función peculiar que desempeña: una vez adquirido y después de haberse verificado su eficacia, pasa a formar parte de la actividad de conquistar nuevos conocimientos. Al igual que cualquiera otro conocimiento, el método científico se encuentra en continuo desenvolvimiento histórico y sistemático. En rigor, el método científico es una abstracción de las actividades que los investigadores realizan, mediante la cual se concentra la atención exclusivamente en los procesos de adquisición del conocimiento, desentendiéndose del contenido particular de los resultados obtenidos, salvo en cuanto al hecho de que sean válidos. En esas condiciones es como el método expresa instrumentalmente las leyes que rigen el trabajo científico en el logro de nuevos conocimientos. Entonces, de la misma manera en que el conocimiento científico representa, en último término, la expresión del dominio ejercido por el hombre sobre los procesos existentes, así también, en el método se expresa el dominio humano sobre el propio conocimiento.

Una operación es la acción de ejecutar un movimiento o una serie de movimientos que producen un efecto, o de poner en práctica una relación establecida en general para un caso particular. En la actividad científica existen muchas operaciones manuales y mentales, que se encuentran determinadas con precisión y se ejecutan conforme a reglas bien formuladas. Una técnica es un procedimiento, o conjunto de procedimientos, regulado y provisto de una determinada eficacia. También se denomina técnica al conjunto de reglas aptas para dirigir eficazmente una actividad cualquiera y la destreza necesaria para realizarla. Más todavía, igualmente se llama técnica al conjunto de procedimientos y operaciones por medio de los cuales se resuelve una dificultad o se cumple una función concreta. Naturalmente, una misma dificultad o una misma función puede ser abordada por varias técnicas diferentes. Dentro de la actividad científica y tecnológica, una técnica es el conjunto de operaciones bien definidas y transmisibles, destinadas a producir resultados previstos y bien determinados. Específicamente, una técnica viene a ser el procedimiento, o conjunto de procedimientos, exigido para el empleo de un instrumento, para el uso de un material o para el manejo de una determinada situación en un proceso.

La técnica se refiere siempre a una acción e incluye, necesariamente, la experiencia previa. Tanto en la actividad científica y tecnológica, como en las otras actividades humanas, existen varias clases de técnicas, entre las cuales destacamos en el dominio científico las técnicas experimentales y las racionales. Las técnicas se inventan, se enseñan, se aprenden, se transmiten de manera oral o escrita y a través de su mostración en la actividad misma. Su invención y su perfeccionamiento son siempre obra colectiva y progresiva. Las técnicas se desarrollan continuamente, se multiplican sin cesar y cambian, al paso y en la medida en que avanzan la ciencia y la tecnología. En todo caso, las técnicas constituyen una de las partes más adelantadas de la actividad científica. Ahora bien, las técnicas forman parte de los métodos, pero no se confunden con ellos. Una técnica puede figurar en varios métodos, sin que constituya necesariamente una parte intrínseca de método alguno. Lo que es más, cada vez que se inventa una técnica mejor, la anterior deja de ser utilizada. Tampoco hay técnicas que sean exclusivas de un determinado método. Por otra parte, una técnica científica puede llegar a convertirse en una técnica industrial; y, viceversa, una técnica industrial puede ser adoptada como técnica científica. En rigor, se tiene una independencia entre las técnicas y los métodos. Todo mé-

todo incluye técnicas, mientras que no hay técnica alguna que incluya como parte integrante a un método. Ningún método está compuesto exclusivamente de técnicas; y, ninguna de las técnicas que forman parte de un método, se encuentra en esa situación, para siempre. En suma, un método consta de varias técnicas, junto con otros muchos elementos de otra índole; pero jamás es un mero conjunto de técnicas.

El método científico se funda estrictamente en las técnicas experimentales, las operaciones lógicas y la imaginación racional, se desarrolla mediante aproximaciones sucesivas, se comprueba reiteradamente en la práctica y se afina mediante la conjugación de la reflexión comprensiva y el contacto directo con la realidad objetiva. La formulación lógica del método se ha conseguido hacer, y se sigue desarrollando, mediante el esfuerzo conjunto de los investigadores teóricos y los experimentadores. Su expresión clara y precisa implica la generalización de los procedimientos surgidos dentro de cada disciplina, para hacer efectivas todas sus posibilidades y extender sus alcances. En el método científico se encuentran comprendidos, entonces, todos los procedimientos que se utilizan en la adquisición y la elaboración del conocimiento. Por consiguiente, forman parte del método las secuelas generales y las modalidades específicas que aquellas adoptan dentro de los diversos dominios de la ciencia, el planteamiento de los problemas y las maneras de abordar su solución, las operaciones indagadoras, los razonamientos concluyentes, las demostraciones y las refutaciones, las formas de argumentar, los modos empleados en la exposición discursiva, los procedimientos de verificación experimental, la planeación de los experimentos y las técnicas para llevarlos al cabo, lo mismo que las funciones lógicas y las operaciones que se ejecutan con ellas.

En términos de un esquema general, el proceso de la investigación científica se despliega en las siguientes etapas principales:

1) el surgimiento de un problema (entendemos por problema cualquiera dificultad que no se puede resolver automáticamente, es decir, con la sola acción de nuestros reflejos instintivos y condicionados, o mediante el recuerdo de lo que hemos aprendido anteriormente);
2) la revisión de los conocimientos anteriores que sean pertinentes y la comprensión cabal de ellos;
3) el planteamiento claro y distinto del problema;
4) la búsqueda de su solución, incluyendo su explicación posible, mediante la formulación de una hipótesis;
5) la predicción de las consecuencias de la hipótesis;
6) la planeación del experimento necesario para verificar las consecuencias de la hipótesis;
7) el diseño del experimento, incluyendo el método adecuado para realizarlo;
8) la ejecución del experimento, aplicando rigurosamente el método, con la habilidad, la inteligencia y la imaginación requeridas;
9) la obtención de algún resultado que sea comprobable o demostrable, o bien, ambas cosas a la vez;
10) la demostración o la verificación experimental del resultado, o las dos cosas;
11) la interpretación del resultado en los términos de la teoría correspondiente;

12) la inserción del resultado en el sistema de los conocimientos adquiridos;
13) la indagación de algunas consecuencias implicadas por el resultado; y,
14) el surgimiento de nuevos problemas.

Es necesario aclarar que el proceso de la investigación científica es una actividad cíclica, tanto porque de los resultados obtenidos surgen nuevos problemas, iniciándose así un nuevo ciclo, como porque cada una de las fases puede dar lugar a indagaciones epicíclicas, en las cuales se repiten algunas de las fases anteriores.

Una vez que se tiene definido el propósito de una investigación, se diseña el plan para alcanzarlo, que viene a ser el camino —el método en sentido lato— que llevará hacia esa meta. Naturalmente, nadie puede emprender una investigación sin tener experiencias previas, ya sea adquiridas por cuenta propia o por cuenta ajena. Desde luego, en el diseño del plan figuran algunos métodos ya probados en otras ocasiones, aunque nunca se pueda pretender utilizarlos exactamente de la misma manera y, muchas veces, se imponga la necesidad de introducir algunas modificaciones en los métodos mismos. Dichos métodos proceden del examen crítico que constantemente se está realizando de la ciencia, especialmente con respecto a los conocimientos ya comprobados resultantes de la investigación. El examen se concentra en los conocimientos seguros y en los procedimientos que han conducido a su obtención. Entonces, se destaca claramente la importancia de practicar ese examen crítico de la actividad científica en el proceso de su desarrollo, y no solamente en lo que se refiere a sus resultados. De lo que se trata es de examinar la práctica de la investigación científica, pero no limitándola a una reflexión posterior a su ejecución, sino de hacerlo justamente cuando esa actividad se está realizando. Pues bien, como consecuencia de ese examen, se advierte que la parte más activa de cualquier conocimiento logrado viene a ser justamente el método utilizado porque es la parte susceptible de coadyuvar después a la ejecución de nuevas investigaciones y, por ende, a la obtención de nuevos conocimientos.

El método científico es general y, por consiguiente, se aplica en todas y cada una de las ciencias, manteniendo en dichas aplicaciones sus características generales. En rigor, el método científico es único y sus diferencias parciales señalan simplemente otras tantas etapas de su desenvolvimiento, en recíproca acción con el progreso del conocimiento. El hecho de que en el universo todo se encuentre entrelazado formando un conjunto inseparable, o sea, que los procesos objetivos se encuentren en una conexión indisoluble, en todas las manifestaciones de su existencia en movimiento y en cambio incesantes, sirve de fundamento inconmovible a la consideración de la unidad del universo y, con ella, a la unidad del método científico. Para servir eficazmente en su función de instrumento, es necesario que el método reproduzca en la investigación al desarrollo general del universo y que, a la vez, represente las fases comunes de ese desarrollo en una correspondencia biunivoca. Entonces, tal como los resultados del conocimiento científico corresponden a las propiedades y las conexiones activas que los procesos existentes ponen de manifiesto y las reflejan de cierta manera, así también el método corresponde a las formas de desarrollo y de transformación de dichos procesos, reflejándolas de un modo definido.

La investigación científica se practica en todos los campos del conocimiento con arreglo al mismo método general. Por lo tanto, las diferencias

que se aprecian entre el método en la física y en la historia, o entre las operaciones metódicas típicas de la biología y las de la economía, son sencillamente las diferencias específicas que se producen en la particularización del método, siempre uno y el mismo, de acuerdo con el dominio de que se trate y conforme a las características objetivas de los procesos implicados. Así, los caracteres generales del método se especifican en cada una de las disciplinas particulares, con arreglo a las peculiaridades de los procesos y las relaciones estudiados. Podemos decir que el método se particulariza en tantas ramas como disciplinas científicas existen y, dentro de ellas, todavía se especializa aún más y hasta llega a singularizarse en cada investigación. Entonces, las características del método científico se muestran de una manera en las matemáticas y de otra en la física, la biología, la psicología, la economía o la historia. Y, la vez, esas particularidades se reflejan en el conjunto, en donde se manifiestan con las diversas variantes y modalidades que adquieren en cada disciplina.

Dentro de la unidad de los métodos utilizados en la actividad científica, se pueden distinguir tres géneros principales, que corresponden a otras tantas fases del proceso del conocimiento. Dichas fases son intrínsecamente inseparables, se encuentran conectadas recíprocamente, interactúan unas con otras y constituyen etapas obligadas en cada investigación que se realiza. No obstante, es posible distinguirlas relativamente con claridad. Así tenemos, en primer lugar, la fase propiamente investigadora, luego viene la fase de sistematización y, por último, tenemos la fase expositiva. En la investigación propiamente dicha, se hace el descubrimiento de nuevos procesos existentes, de aspectos nuevos en los procesos ya conocidos o de relaciones que no estaban determinadas entre los procesos. La sistematización pemite establecer la conexión racional de los resultados obtenidos, formula su demostración o consigue su verificación experimental y elabora su interpretación, ya sea conforme a las explicaciones conocidas o con arreglo a nuevas hipótesis que entonces se formulan. Después de su sistematización es cuando el nuevo concimiento puede ser expuesto en forma convincente, para comunicarlo a los otros científicos y ofrecerlo a su crítica.

La investigación científica nunca se repite, ni menos produce resultados iguales a los obtenidos con anterioridad. Por lo contrario, con excepción de aquellos casos en que se trata de confirmar una consecuencia o de verificarla de otra manera, la investigación científica siempre produce resultados nuevos. Por lo tanto, los productos elaborados en la actividad científica son singulares y únicos; lo cual contrasta notablemente con la fabricación industrial, que elabora productos iguales por millares y millones. Por otra parte, los resultados de la actividad científica tampoco provienen de la simple aplicación de una técnica o de un grupo de técnicas, puesto que los conocimientos no se producente mediante procedimientos enteramente regulados, ni se encuentran completamente previstos y bien determinados por anticipado. De una manera más aproximada a otras actividades humanas, podemos decir que la investigación científica es un arte. Por consiguiente, se trata de una actividad que requiere de ciertas prácticas y habilidades, manuales y mentales. El investigador tiene que aprender ese arte y adiestrarse en su ejercicio, antes de poder emprender por su cuenta la tarea de resolver algún problema surgido en el campo de la ciencia. Por supuesto, el arte de investigar tiene que practicarse con inteligencia, imaginación y paciencia, dentro del mayor rigor racional y la más estricta objetividad. De lo anterior, podemos concluir que la investigación es, en útimo extremo, el arte de saber emplear el método científico.

En la fase investigadora del método científico, se pueden discernir tres alternativas importantes:

a) la que desemboca en la anticipación de descubrimientos, en la invención o en la creación, valiéndose de la imaginación racional, que es el *ars inveniendi* o arte de encontrar, imaginar o inventar.
b) la que conduce a la formulación de conjeturas y lleva a resolver los problemas siguiendo caminos abreviados o atajos, que es el *ars conjecturandi;* y
c) la que consiste en la investigación estrictamente hablando, que es el *ars pervestigandi.*

La fase de sistematización del método científico, que incluye la comprobación, la validación, la prueba, la verificación, la confirmación, la demostración, la justificación, la formalización, la fundamentación y la ubicación en el sistema de la ciencia en cuestión de los nuevos conocimientos, se denomina *ars probandi.*

En fin, la fase correspondiente al método del discurso científico, que permite exponer de una manera clara, concisa, consecuente, precisa, convincente y ostensible la investigación realizada, se llama también *ars disserendi.*

3. NOCIONES CRÍTICAS

En la actividad científica se hacen continuamente abstracciones. La abstracción consiste en considerar un proceso, o un grupo de procesos, con respecto a una o unas cuantas propiedades de su existencia, prescindiendo de todas las otras. Entre las propiedades que muestra un proceso, pocas o muchas, se escoge una sola de ellas para considerarla aparte de las demás, abstrayéndola de ellas. Por lo tanto, abstraer es aislar y destacar una propiedad sin hacer referencia alguna a las otras propiedades del proceso, ni tampoco a las vinculaciones entre aquella y éstas. La abstracción permite, entonces, concentrar el estudio en una propiedad concreta, o en unas cuantas propiedades concretas, haciendo caso omiso de las otras. Por supuesto, la abstracción no significa que se consideren inexistentes las otras propiedades, sino simple y llanamente que no se las toma en cuenta. El fundamento objetivo de la abstracción se encuentra en el hecho de que el universo es susceptible de descomponerse en partes aisladas, aunque siempre de modo relativo y transitorio. En todo caso, la abstracción no representa un verdadero alejamiento de la realidad objetiva, sino el apartar ciertos aspectos de esa realidad, con el propósito de efectuar una investigación intensiva. Así, por ejemplo, en la física es posible estudiar las propiedades de los diversos movimientos ejecutados por los cuerpos, incluyendo las trayectorias que describen y los tiempos que emplean en recorrerlas, pero sin tomar en cuenta las fuerzas que producen dichos movimientos. Por consiguiente, en la cinemática, que es la disciplina que estudia el movimiento de esa manera, se hace abstracción de las fuerzas. De un modo análogo, en la lógica es posible estudiar por separado los elementos del pensamiento, incluyendo sus relaciones y las operaciones que se pueden ejecutar con ellos, haciendo abstracción de su desarrollo y de sus transformaciones, esto es, como si tales elementos fuesen invariantes. La disciplina que se encarga de realizar esa tarea, recibe el nombre de lógica formal.

La abstracción es una operación racional que produce como resultado separar una o varias cualidades de un proceso, para considerarlas en un contexto simplificado. En rigor, se trata de una operación imprescindible para obtener el conocimiento de la existencia. Si intentáramos comenzar a conocer un proceso tomando en cuenta el conjunto de sus propiedades y sus interacciones con otros procesos, tendríamos que considerar simultáneamente una enorme cantidad de elementos diferentes, que nos produciría una representación caótica. Lo que siempre tenemos necesidad de hacer para llegar a conocer cualquier proceso es una primera abstracción y, sobre ella, otra abstracción y, luego, otra abstracción más y así sucesivamente, hasta realizar abstracciones cada vez más sutiles para alcanzar las determinaciones más simples del proceso en cuestión. Después de haber

llegado a ese punto, es necesario emprender el viaje de retorno, hasta volver nuevamente al proceso concreto considerado en su contexto íntegro. Pero, entonces ya no tendremos una representación caótica del proceso en su conunto, sino una rica totalidad comprensible en sus múltiples determinaciones y relaciones. De esa manera, las determinaciones abstractas conducen a la reproducción de lo concreto, por el camino del pensamiento científico. El procedimiento que consiste en elevarse de lo concreto a lo abstracto, es para el pensamiento la manera más eficaz de apropiarse de las propiedades concretas del proceso; y, después, mediante la elevación inversa, de lo abstracto a lo concreto, el pensamiento puede reproducir al proceso como una imagen racional concreta y completa. Pero hay que tener cuidado de no caer en la ilusión de concebir lo real como si fuera el resultado del pensamiento que, partiendo de sí mismo, se concentrara en sí mismo y se moviera por sí mismo; ya que el proceso que acabamos de mencionar no es el proceso de formación del proceso concreto, sino de su imagen racional.

La abstracción es una operación que admite su reiteración sin límite alguno y en ambos sentidos. De tal manera que podemos abstraer de la realidad, para luego abstraer de esa abstracción de la realidad y, más tarde, abstraer de la abstracción de la abstracción de la realidad; y seguir abstrayendo así indefinidamente. De un modo análogo, podemos pasar de lo más abstracto a lo menos abstracto y, en seguida, a algo todavía menos abstracto, hasta volver a la integridad de lo concreto por aproximaciones sucesivas. La función específica de la abstracción consiste en poner de relieve lo fundamental y lo pertinente de un proceso, haciendo de esa manera posible su análisis. En cada proceso, son fundamentales las propiedades y relaciones que lo caracterizan peculiarmente; y son pertinentes aquellos factores que ejercen una influencia decisiva en su desarrollo. Por supuesto, es el investigador quien tiene que decidir en cada caso lo que va a abstraer. Su decisión dependerá del problema que intente resolver y de cuales sean los elementos fundamentales y pertinentes de los procesos implicados en dicho problema. En la práctica, se requiere formular hipótesis acerca de lo que es fundamental y de lo que es pertinente, profundizar en esas hipótesis, extraer consecuencias de ellas y verificar las conclusiones con los resultados de la experiencia. Una vez que se determinan los elementos fundamentales y pertinentes, o que se tienen indicios suficientes para considerar que se les tiene determinados, se concentra en ellos la investigación, haciendo las abstracciones convenientes.

Como ya lo hemos dicho, la abstracción no representa una separación real, sino que hace resaltar ciertos aspectos de la realidad, desvinculándolos relativamente de los otros, con propósitos de investigación concentrada e intensiva. Pero, en modo alguno, se entiende que aquellos aspectos que no son considerados en esas condiciones, dejan por eso de existir. Por lo contrario, esos otros aspectos son susceptibles de ser investigados también, en abstracciones diferentes; pudiendo suceder que un elemento destacado en una abstracción, resulte omitido en la consideración de otra abstracción distinta. En la física, por ejemplo, tenemos que en la dinámica sí se toman en cuenta las fuerzas que producen los movimientos, por lo cual dicha disciplina es menos abstracta que la cinemática; sin perjuicio de que en la propia dinámica se haga abstracción de todos aquellos factores que no son fundamentales ni tampoco pertinentes para el movimiento de los cuerpos. Por otra parte, en la geometría se estudian las propiedades de las figuras, haciendo abstracción de los movimientos que éstas sufren; espe-

cialmente porque se ha comprobado que tales propiedades permanecen invariantes ante cualquier movimiento de las figuras. En el caso de la matemática, sucede que la abstracción se lleva al extremo, aislando una propiedad común de los procesos del universo y destacándola, luego, en una forma idealizada de perfección, que excluye cualquier referencia a los propios procesos de los que procede. De esa manera se establecen los objetos matemáticos primarios, como los números, las magnitudes y las figuras. Después se hacen abstracciones de esas abstracciones, para constituir los otros objetos matemáticos. Al mismo tiempo, se establecen operaciones entre esos objetos, cuyo resultado puede ser un objeto de la misma clase, o bien, un objeto de una clase nueva. En esas condiciones, los objetos de la matemática se encuentran determinados con toda precisión y no es posible atribuirles propiedades arbitrarias, del mismo modo en que no se puede cambiar arbitrariamente un proceso físico, ni tampoco es posible modificar por un acto de voluntad o por capricho, su representación racional.

El concepto científico es la síntesis en la cual se expresan los conocimientos adquiridos acerca de un proceso, de sus propiedades, de sus relaciones con otros procesos o de sus conexiones internas. Los conceptos se establecen y se desarrollan en el curso de la evolución histórica del conocimiento y con fundamento en la práctica social de la ciencia. Por eso es que los conceptos científicos no son simples productos de la creación o la imaginación racional, sino que representan las características objetivas de los procesos. Desde su forma más elemental hasta la más compleja, el concepto se constituye por medio de la reconstrucción racional de los datos conocidos en la experiencia, o bien, de las conclusiones establecidas como resultado de los razonamientos. A través de esa reconstrucción racional, esos datos y tales conclusiones son entrelazados, organizados y sintetizados en ese todo unitario que es el concepto. La reconstrucción empieza muchas veces por ser vaga y mal acotada, pero siempre refleja al proceso, propiedad o relación en su integridad. Luego, el concepto se afina, mediante la experimentación y el razonamiento. El concepto ya formulado permite entender mejor los datos observados o inferidos anteriormente y sirve, a la vez, para descubrir o anticipar otros aspectos y nuevas relaciones en los pocesos. Después, el concepto se enriquece con la incorporación de esos descubrimientos dentro de su contenido, ofreciendo entonces una comprensión más amplia y penetrante de los procesos y haciendo posible el hallazgo de nuevos aspectos y enlaces entre ellos. De esa manera, los conceptos se constituyen en elementos del conocimiento posterior y en instrumentos de la acción humana sobre los procesos conocidos.

Los conceptos son abstracciones de los procesos, de sus propiedades y de sus relaciones. La formulación de cada concepto se hace mediante abstracciones sucesivas, que permiten destacar las propiedades y los vínculos comunes de una clase de procesos semejantes. De esa manera, el concepto no es pasivo ni indiferente, sino activo y pasible al avance del conocimiento. Así, las propiedades concretas de los procesos se funden en la unidad del concepto, que es la cristalización del conocimiento. Cada concepto científico posee un contenido que significa, por su *intensión,* las cualidades de los procesos que quedan comprendidos en su determinación y, por su *extensión,* la cantidad de procesos que son miembros de la clase a la cual se refiere el concepto determinado. Ahora bien, debido a que el conocimiento científico avanza sin interrupción, los conceptos se van enriqueciendo en su contenido y, por lo tanto, están sujetos a un desarrollo inten-

sivo y extensivo. En algunas ocasiones, el enriquecimiento de un concepto puede consistir en el incremento de su intensión, porque se haya descubierto alguna nueva cualidad en los procesos representados por el concepto que, entonces, se incorporan a su contenido. Por ejemplo, cuando se agregaron las propiedades de los números fraccionarios a las cualidades ya conocidas de los números naturales, formándose así la clase de los números positivos (enteros y fraccionarios), entonces creció la intensión del concepto de número. En otros casos, el desarrollo puede estribar en el aumento de la extensión del concepto, debido a que se hayan encontrado otros procesos que pertenezcan a la misma clase. Como sucedió, por ejemplo, con el descubrimiento del planeta Plutón, con lo cual creció la extensión del concepto de sistema solar. En fin, hay otros casos en que el desarrollo del concepto produce un crecimiento simultáneamente cualitativo y cuantitativo de su contenido. Como ocurrió por ejemplo, cuando se descubrieron los virus, incrementando de esa manera la intensión y la extensión del concepto de biología. Como puede advertirse, la extensión y la intensión del concepto son dos variables de su determinación que, con el avance del conocimiento, pueden aumentar o se pueden conservar en el mismo nivel, pero que ya nunca decrecen. Por lo tanto, la relación entre la intensión y la extensión de un concepto no es inversamente proporcional, sino que corresponde a una función monótona no-decreciente, puesto que cada una de ellas puede crecer o se puede mantener estacionaria, aunque sin retroceder en ningún caso.

La cantidad infinita de los procesos existentes y la indefinida multiplicidad de sus manifestaciones, hacen necesario que, para distinguir una clase y formular su concepto respectivo, se practique una selección entre los procesos y con respecto a sus aspectos. Por consiguiente, la conceptuación requiere de tres operaciones principales:

a) la abstracción de las propiedades secundarias, para hacer resaltar las fundamentales;
b) la vinculación orgánica de esas propiedades fundamentales en una representación racional unitaria e íntegra; y,
c) la comprobación experimental o la demostración racional del concepto formulado.

En rigor, cada vez que se incrementa la intensión o la extensión de un concepto, se vuelven a ejecutar esas tres operaciones para incorporar las nuevas determinaciones a su contenido. De esa manera se consigue que, en cualquier momento de su desarrollo, el concepto científico sea un reflejo definido y correspondiente a ciertas conexiones y actividades que existen objetivamente en los procesos del universo. En tales condiciones, una vez comprobado o demostrado, el concepto es utilizado como equivalente de la clase de procesos, propiedades o relaciones que representa. Entonces, los cnceptos son imágenes o símbolos de los procesos existentes. En el caso de los conceptos científicos, dichas imágenes están formadas de una manera tan rigurosamente representativa que, después, los utilizamos como equivalentes para ejecutar razonamientos y obtener conclusiones. Con la circunstancia de que las consecuencias lógicamente necesarias de esas imágenes son, invariablemente, las imágenes de las consecuencias objetivamente necesarias de los correspondientes procesos existentes. Esto es, que los conceptos obtenidos en un razonamiento científico riguroso, representan a los procesos resultantes de las actividades objetivas reflejadas por el propio razonamiento y, por ende, son equivalentes a dichos procesos.

En la actividad científica es indispensable saber con toda claridad y precisión lo que se busca. También es menester el poder reconocer sin ambigüedad lo buscado, cuando se encuentre. Igualmente, es necesario tener suficiente habilidad para determinar con exactitud lo que es realmente nuevo, en el caso de lograr efectivamente hacer un hallazgo. Pues bien, para cumplir satisfactoriamente esos desempeños, tenemos que conocer lo que son las definiciones, aprender cuáles son sus funciones, saber manejarlas con acierto y adquirir destreza para formular bien aquellas definiciones que nos resulte necesario establecer.

La definición de un concepto consiste en discriminar las condiciones que debe satisfacer un proceso o un espécimen para formar parte integrante de la clase determinada por dicho concepto. La definición establece con precisión los límites del concepto, distinguiendo netamente su dominio y separándolo de los dominios de las otras clases. En rigor, la definición es el criterio para decidir inequívocamente si un proceso o un espécimen pertenece o no pertenece al concepto definido. En ese sentido, la definición establece una dicotomía, o sea, una división tajante entre la clase de procesos incluidos en el concepto y todos los demás procesos del universo. Dicho de otra manera, la definición destaca al concepto como una clase, considerando al resto de lo existente como su negación, o sea, como su complemento o clase negativa. Sin embargo, la propia investigación ha puesto al descubierto que los procesos no son separables de una manera tajante, ni tampoco se pueden aislar por completo, puesto que su vinculación es una constante universal. Por consiguiente, toda dicotomía acaba por mostrar su relatividad y su carácter abstracto. Esa relatividad se manifiesta en un doble sentido, puesto que se llegan a encontrar siempre procesos que pertenecen a las dos alternativas establecidas como excluyentes en la dicotomía (con una notoria violación del precepto formal de la no-contradicción); y, también, procesos que no pertenecen a ninguna de las dos (con una ostensible violación del precepto formal de la exclusión de tercero). Así, por ejemplo, los fitomastiginos, organismos pertenecientes a la clase de los flagelados, son vegetales y animales a la vez. Mientras que, por su parte, los virus, que posiblemente son organismo vivos, no son seguramente ni vegetales ni animales; y tampoco son móneras, ni protistas, ni hongos, ni metafitos, ni metazoarios. En fin, las paradojas son casos ilustrativos de la imposibilidad de establecer definiciones tajantes. Como ocurre, por ejemplo, con la regla general de que «no hay regla sin excepción».

Para formular un criterio inequívoco que permita saber si un proceso pertenece o no al concepto definido, no es necesario hacer una enumeración exhaustiva d las cualidades conocidas de los procesos o especímenes comprendidos en ese concepto. Por eso, en la definición solamente figuran aquellas características que son peculiares de los procesos o de los especímenes integrantes de la clase representada por el concepto en cuestión. Tales características se destacan así como las cualidades distintivas de dichos procesos o especímenes y, en consecuencia, son suficientes para distinguirlos sin ambigüedad de los otros procesos o especímenes. Entonces, como se puede advertir claramente, la intensión de un concepto —es decir, el conjunto de sus cualidades— queda necesariamente implicada por la definición; aun cuando la intensión siempre es más rica que la definición del mismo concepto. De esa manera, la intensión de un concepto puede seguir creciendo indefinidamente, sin que sea necesario modificar o ampliar por ello su definición. Sin embargo, hay ocasiones en que si se requiere cambiar la definición establecida, tal como sucede cuando se descubre que una de

las cualidades incluidas en la definición no es una de sus propiedades distintivas, o bien, cuando la definición se convierte en un paradoja.

La definición implica a la intensión del concepto, pero no coincide con ella, puesto que establece a una sola cualidad (simple o compleja) como distintiva de la clase definida. La definición es denotativa, ya que indica el criterio discriminante para determinar la pertenencia a una clase y eso lo hace de una manera ostensiva. También resulta que la definición, siendo intensiva, acota con precisión e inequivocidad a la extensión del concepto. Por otra parte, la definición es estipulativa, en tanto que, al fijar un término para designar al concepto definido, establece la manera en que dicho término va a ser utilizado en la investigación. Lo que se debe cumplir estrictamente, una vez adoptada una definición, es conservarla durante el curso de esa investigación. De esa manera, la definición fundamenta al concepto en los resultados de la experiencia y en las consecuencias del razonamiento y, al mismo tiempo, lo interrelaciona con los otros conceptos, tanto con los ya establecidos como con los nuevos que entonces surgen. En todo caso, aun cuando la definición no amplía propiamente el conocimiento, sí desempeña una función importante en la investigación, aclarando el concepto, despojándolo de asociaciones accidentales o impertinentes y permitiendo explorar sistemáticamente el campo de conocimiento al que corresponde el concepto definido.

Desde el punto de vista formal, la definición explícita consiste en establecer una equivalencia entre dos términos: uno de ellos es el concepto definido o *definiendo,* y el otro término es el *definiente* o definición declarada, compuesto de conceptos ya definidos anteriormente. Tanto el difiniendo como el definiente se refieren a la misma clase de procesos, pero cada uno de ellos posee un significado independiente de la operación de definir que los equivale. Sin embargo, se debe advertir que la definición no estriba en la mera repetición del concepto definido, empleando dos expresiones o vocablos sinónimos; ya que, en tal caso, lo que se obtendría sería una tautología. El definiente constituye un análisis del conjunto representado por el definiendo, mientras que éste es una síntesis del definiente. Como la equivalencia es una propiedad recíproca, el definiendo y el definiente son intercambiables y, entonces, en cualquier momento se puede sustituir el uno por el otro. Por ejemplo, si tenemos que:

$$x = 3y + 2,$$

en donde 'x' es el definiendo y '3y + 2' es el definiente, resulta que, cada vez que ocurra 'x', la podemos sustituir por '3y + 2'. Lo mismo sucede con la definición de que:

> La parábola es el lugar geométrico de los puntos que equidistan de un punto fijo y de una recta fija,

que puede invertirse, quedando:

> El lugar geométrico de los puntos que equidistan de un punto fijo y de una recta fija es una parábola.

Es necesario aclarar que, en rigor, la relación entre la clase definida y su definición no es biunívoca, sino multívoca; puesto que solamente hay una clase que contiene los elementos definidos, mientras que pueden existir dos o más características distintivas por las cuales se pueda definir a esa misma clase. A ese respecto, recordemos que, por ejemplo, entre un padre y sus hijos existe una relación multívoca; y que dicha relación es biunívoca solamente cuando el hijo es único.

En algunos casos, es posible establecer definiciones por extensión, en las cuales se enumeran simplemente los miembros de la clase. Por ejemplo, podemos definir así:

El conjunto formado por Pedro, Juan y Pablo.

Pero la definición por extensión no es aplicable en aquellos casos en que el conjunto es infinito o cuando, siendo finito, su enumeración es difícil o larguísima. Tal sucede, por ejemplo, cuando nos proponemos definir extensivamente a 'los seres humanos vivientes', a 'los habitantes de la ciudad de México' o, simplemente, a 'los asistentes a una reunión'. Más todavía, inclusive en aquellos casos en que resulta posible formular una definición extensiva, después su manejo es complicado y farragoso. Por lo demás, en todos los casos en que se tiene formulada una definición extensiva, siempre es posible convertirla en una definición intensiva. Así, por ejemplo, la definición:

El conjunto formado por Pedro, Juan y Pablo,

se convierte en:

x es Pedro, o x es Juan, o x es Pablo,

que viene a ser análoga a la expresión de los tres valores que tiene la raíz de una ecuación cúbica.

Para insertar un concepto nuevo dentro de un sistema de clasificación, o bien, cuando es necesario expresar la posición que ocupa algún concepto en dicho sistema, se recurre a la *definición estática*. El procedimiento que se sigue entonces consiste en caracterizar al conjunto en cuestión, determinando su género próximo y sus diferencias específicas. El género próximo es el concepto de orden superior al cual se encuentra subordinado el concepto. Las diferencias específicas son aquellas cualidades que distinguen al concepto de los otros que se encuentran coordinados en el mismo nivel del sistema de clasificación y que, por lo tanto, constituyen las diversas especies del mismo género. Por ejemplo, cuando se define el cuarzo de esa manera, se dice que:

es una roca ígnea (su género próximo) compuesta de la combinación anhidra del silicio con el oxígeno, que cristaliza en forma trigonal (sus diferencias específicas).

De esa manera, en la definición queda señalado el lugar que el cuarzo ocupa, dentro del sistema de clasificación de las rocas que forman la litósfera terrestre. Análogamente, en el nombre científico de cualquiera animal o vegetal, se encuentra expresada su definición estática. Por ejemplo, el cacomiztle pertenece a la especie *astutus* del género *Bassariscus*, por lo que su nombre científico es *Bassariscus astatus;* y el maguey de mezcal corresponde a la especie *horrida* del género *Agave*, de manera que su nombre científico es *Agave horrida*. Por otra parte, es posible formular más de una definición estática del mismo concepto, siendo todas ellas equivalentes. Así, por ejemplo, al cuadrado lo podemos definir como:

el cuadrilátero equiángulo y equilátero;

pero, también es posible definirlo como:

el cuadrilátero con diagonales iguales, perpendiculares entre sí y que son bisectadas por su punto de intersección;

o bien, queda igualmente definido como:

la figura plana cuya simetría es de grado 8 (puesto que existen ocho movimientos del plano que transforman el cuadrado en sí mismo).

Otras ilustraciones de definición estática, son las que siguen:

La economía política es la ciencia social que estudia la producción de bienes y servicios y su distribución.
Estado de un sistema físico es cualquiera condición bien determinada, que se puede reconocer cuando se vuelve a presentar.
El bromuro es la sal derivada del ácido bromhídrico.
La mercancía es el producto elaborado con destino al cambio.
La información es un conjunto de señales, mensajes, comunicaciones, permisiones, prohibiciones, órdenes, estímulos o impulsos de cualquiera índole, con los que un proceso manifiesta su existencia y provoca cierta perturbación en otros procesos.
La función racional es la que implica únicamente operaciones de adición, multiplicación, sustracción y división.

En la *definición dinámica* se señala un procedimiento para conseguir la formación o génesis de los procesos expresados en el concepto, o bien, se indica la ley de su desarrollo. Por lo tanto, al precisar la ley que gobierna el desenvolvimiento de una clase de procesos, quedan implicadas las condiciones de su posibilidad y se incluyen en la definición los elementos que permiten reproducir el proceso definido. En la definición dinámica se expresa el concepto mediante las características de la actividad necesaria y suficiente para producir los procesos o para mantener su desarrollo. Una buena ilustración de este tipo de definición es la fórmula de combinación de una sustancia química cualquiera. Por ejemplo, el cloruro de sodio queda definido dinámicamente, expresando que se obtiene del hidróxido de sodio y el ácido clorhídrico, siendo acompañada su formación de la producción de agua. Por cierto que, también es posible definir el mismo cloruro de sodio, estableciendo que se produce a partir del carbonato de sodio y el ácido clorhídrico, siendo acompañado entonces de bióxido de carbono y agua. Otros ejemplos de definición dinámica, son los siguientes:

El reflejo condicionado es un acto cuya realización automática se consigue mediante la presencia sistemática de un estímulo determinado.
El cilindro es el sólido engendrado por la rotación de un parelelogramo, teniendo a uno de sus lados como eje.
La topología estudia todas las transformaciones geométricas que son biunívocas y continuas.
La urea se obtiene mediante el calentamiento del cianato de amonio.
El paralalepípedo es el sólido engendrado por la translación de un paralelogramo, perpendicularmente al plano que lo contiene.
La plusvalía es el excedente del valor de la fuerza de trabajo, producida por ésta al ser aplicada.
La longitud se determina por medio de la comparación de un patrón tomado como unidad.
La distancia se determina por medio de una triangulación.

Por medio de una *definición dialéctica* se formulan conceptos enteramente nuevos, a partir de otros conceptos ya conocidos. Para establecer una definición dialéctica es necesario descubrir la manera de negar dialécticamente alguna de las condiciones limitantes que definen a un concepto determinado y, entonces, esa negación se constituye en condición característica del nuevo concepto, que así queda definido. Como resultado de semejante negación dialéctica, se tiene la superación del concepto anterior y de su limitación, en la creación de un dominio diferente, al cual corresponde

el concepto constituido de esa manera. Sólo que, en tal caso, siempre será indispensable averiguar después si esa formulación hipotética de un concepto, representa efectivamente ciertos aspectos objetivos de la existencia o cualidades reales de los procesos, o bien, si existen objetos abstractos que correspondan a la definición establecida de esa manera.

Por ejemplo, fue justamente por medio de una definición dialéctica como se establecieron los fundamentos de la geometría no-euclidiana. Lo que se hizo fue negar dialécticamente el postulado de Euclides acerca de que por un punto exterior a una recta pasa una, y sólo una, paralela; formulando, en su lugar, la definición dialéctica de que por un punto exterior a una recta pasan dos o más paralelas o bien, no pasa paralela alguna. Entonces, con base en ese nuevo postulado, junto con los otros postulados euclidianos, se consiguió formular la nueva geometría. Y, como es sabido, 90 años después se comprobó experimentalmente que el espacio físico es no-euclidiano, al verificarse la teoría de la relatividad. Por otra parte, cuando Newton introdujo la definición de la fuerza de reacción, como una fuerza de igual magnitud y de sentido opuesto a la acción ejercida por cualquier fuerza sobre un cuerpo, afirmó la posibilidad de explicar el movimiento y el equilibrio dinámico. Y, más tarde, cuando se consiguió comprobar experimentalmente la existencia de esa fuerza de reacción, su definición dialéctica se convirtió entonces en la tercera ley del movimiento. Otros ejemplos de definición dialéctica son los que mencionamos a continuación:

> Función trascendente es toda aquella que no es algebraica.
> Número irracional es todo aquel que no se puede representar por medio de una razón (es decir, de una fracción).
> La conducta jurídicamente permitida es la que no está jurídicamente prohibida.

En fin, en la física de las partículas elementales, la consideración hipotética de la posible existencia de otras partículas elementales desconocidas, definiéndolas dialécticamente por medio de propiedades opuestas a las que tienen las partículas ya conocidas, ha permitido anticipar la explicación de muchos procesos. Y, luego, al verificarse experimentalmente la existencia de dichas antipartículas, su definición dialéctica ha quedado incorporada al conjunto de conocimientos obtenidos en el dominio de la microfísica.

Las categorías son conceptos. Sólo que se trata de los conceptos que tienen mayor extensión dentro de una disciplina, porque abarcan por entero su dominio de estudio. Las categorías son los conceptos comunes a todos los conocimientos integrantes de una disciplina y, por ende, se encuentran relacionados con todos los otros conceptos de la misma. En rigor, las categorías se encuentran implicadas necesariamente en todos los juicios que se establecen dentro de la disciplina a que pertenecen. Tomadas en conjunto, las categorías de una disciplina sirven como discriminantes para delimitar su campo. También permiten decidir si un conocimiento pertenece o no a la disciplina, ya que expresan las formas generales de existencia de los procesos estudiados en ella. Las categorías surgen en el curso de la actividad científica y se determinan y desarrollan con el avance de los conocimientos y a través de su comprobación. Una vez formuladas y verificadas, las categorías sirven como instrumentos para descubrir los nexos internos, la unidad y las interacciones fundamentales que existen entre los

procesos. Por consiguiente, además de constituir una condensación de los conocimientos ya logrados, las categorías son un medio para la investigación. Lo que es más, cuando una disciplina ha sido formalizada, entonces las categorías son los "conceptos primitivos" que figuran en los postulados.

Las categorías constituyen los elementos del sistema que sirve de estructura al conocimiento científico. Ese sistema es flexible y eminentemente dinámico, porque sus elementos se transforman dialécticamente sin cesar. El avance del conocimiento hace que se desenvuelvan ininterrumpidamente las categorías, que se enriquezcan las conexiones entre ellas, que se modifique su contenido (al igual que sucede con los otros conceptos), que a veces dos o más categorías se conjuguen para constituir una sola, que otras veces alguna categoría deje de serlo y, también, que en ocasiones surjan nuevas categorías. Por otra parte, a la vez que cada ciencia tiene sus categorías peculiares, igualmente existen categorías que abarcan grupos de ciencias y otras que se refieren al conocimiento científico entero. Tales categorías representan las propiedades fundamentales de un sector más amplio de la realidad o de todos los procesos existentes. Entonces, en cada disciplina quedan implicadas simultáneamente sus categorías exclusivas, junto con esas categorías más generales. Dichas categorías están vinculadas entre sí, se condicionan recíprocamente, se oponen unas a las otras, se interpenetran, se conjugan, se truecan mutuamente y se transforman sin cesar. Por su parte, las categorías generales se determinan en el desarrollo de las investigaciones específicas de todas y cada una de las disciplinas, de modo que su determinación está condicionada por las características de cada dominio. De esa manera, cada categoría refleja un determinado aspecto de la existencia; mientras que el sistema de las categorías representa el conjunto de la existencia en su fluidez, en sus movimientos y en sus múltiples interacciones.

Como ilustraciones de las categorías peculiares de algunas disciplinas, tenemos las que siguen. En la aritmética, el grupo de categorías está constituido por cuatro conceptos solamente: cero, número, sucesor y propiedad. En la mecánica clásica, el grupo de categorías consta de diez conceptos: fuerza, masa, espacio, tiempo, movimiento, velocidad, aceleración, cantidad de movimiento, acción y reacción. En fin, en la biología tenemos un grupo de once categorías: crecimiento, desarrollo, irritabilidad, autorregulación, reproducción, nutrición, metabolismo, excreción, herencia, adaptación y evolución.

4, FÓRMULAS ELEMENTALES

Los movimientos, cambios y transformaciones a que se encuentran sujetos los procesos existentes están regulados por ciertas relaciones invariantes, a las que denominamos *leyes objetivas*. Las leyes objetivas son las formas generales de las relaciones de cambio y representan las conexiones internas y necesarias en que se producen las transformaciones de los procesos, de sus propiedades y de sus interacciones. Las leyes exhiben, entonces, la regularidad de las variaciones, que es lo único constante que se conoce en el universo. Dichas leyes son objetivas porque gobiernan el comportamiento de los procesos, independientemente de nuestra voluntad y de nuestra conciencia. Además, como todo lo existente, las leyes objetivas son susceptibles de ser descubiertas y determinadas por medio de la investigación científica. Incluso, podemos decir que la historia de la ciencia y de la técnica es, en cierto modo, la historia del descubrimiento de esas leyes y de su utilización. En todo caso, es imposible explicar el comportamiento de los procesos, y menos todavía predecirlo, si no se conocen las leyes que regulan dicho comportamiento.

Cuando se consigue descubrir una ley objetiva, se expresa en la forma de una *ley científica*. Por lo tanto, la ley científica es una reconstrucción racional que refleja a la ley objetiva. Entonces, aun cuando su determinación se mejore con el avance del conocimiento, la ley científica sólo puede representar a la ley objetiva de un modo cada vez más aproximado, pero sin llegar a coincidir nunca con ella. En todo caso, la ley científica representa a la ley objetiva, de una manera análoga al modo como el concepto representa a una clase de procesos objetivos. Una vez establecida, la ley científica enuncia una relación necesaria que se cumple en diversas condiciones y cuyos efectos se manifiestan en la producción de acciones determinadas en los procesos. En cada caso, los efectos de una ley dependen específicamente de las condiciones concretas en que se encuentren los procesos. Inclusive, esos efectos pueden ser opuestos; como sucede, por ejemplo, con la ley de la inercia que, por oponerse a cualquier cambio de movimiento, produce el efecto de que un cuerpo se resista a empezar a moverse, cuando está en reposo relativo y, también, produce el efecto de que un cuerpo se resista a detenerse, cuando se encuentra en movimiento. Entonces, aunque nunca es posible cambiar las leyes objetivas, ni tampoco se puede sustraer proceso alguno a su cumplimiento inexorable, no obstante, si es enteramente factible modificar las condiciones y obtener así otros efectos diferentes. De esa manera es como el hombre ha logrado transformar los efectos del cumplimiento de las leyes, alterando convenientemente las condiciones en que se encuentran los procesos afectados. Ese es uno de los conocimientos fundamentales adquiridos por la humanidad desde el comienzo

de la actividad científica; y en tal conocimiento se apoyan el desarrollo tecnológico y la experimentación.

Las leyes no determinan el comportamiento de los procesos, sino que lo regulan en condiciones determinadas. Esto es, que la ley no anticipa lo que le ocurrirá singularmente a un cierto proceso, sino lo que le sucederá cuando se cumplan tales y cuales condiciones. En ese sentido, las leyes desempeñan la función de predecir lo desconocido —los cambios que se producirán— con base en lo conocido —o sea, las condiciones que se han determinado—. Así, la ley explica los procesos conocidos y predice el comportamiento de otros procesos de la misma clase. Como consecuencia, la generalización de una relación necesaria, expresada en la ley, constituye una predicción universal. Por otra parte, las leyes científicas sirven como instrumentos de las investigaciones ulteriores y, en tanto que cumplen con esa función, se constituyen en partes integrantes del método científico. Algunas leyes científicas expresan de una manera simple ciertos hechos objetivos que nos son familiares. Otras leyes se refieren a procesos menos aparentes y más complejos, que incluyen relaciones complicadas y conceptos más refinados. Hay muchas leyes que se expresan mejor por medio de su formulación matemática; sin que tal formulación tenga que ser necesariamente cuantitativa o métrica. La formulación abstracta más elemental de una ley científica es la que se hace al establecer una función matemática con dos variables, admitiendo que entre esas dos magnitudes, que varían de manera correspondiente, existe siempre la misma relación.

Lo más importante es que las leyes científicas explican el comportamiento de los procesos, cuando se conocen las condiciones de su cumplimiento y, a la vez, predicen el comportamiento futuro de cualquier proceso de la misma clase, tanto en esas mismas condiciones como en otras diferentes. De esa manera, las leyes científicas sirven para responder a las principales interrogaciones de la ciencia: sobre el *qué,* el *dónde,* el *cuándo,* el *cómo* y el *porqué* de los procesos existentes. O sea, dicho en otras palabras, acerca de las formas de su existencia, del lugar en que se encuentran, del momento en que ocurren, de los modos y maneras de su comportamiento, y de las causas y razones por las cuales se producen. Como se puede advertir, las leyes representan constricciones en el comportamiento de los procesos. Sin tales constricciones, el universo sería completamente caótico, es decir, que no sería un *cosmos* o todo ordenado. La organización de los procesos, sus simetrías, sus interacciones, sus movimientos, junto con las regularidades de su comportamiento y otras muchas modalidades de su existencia, imponen un gran número de constricciones a los procesos. Cada ley científica es, entonces, la expresión determinada de una constricción. Así, por ejemplo, la ley de Newton sobre el movimiento planetario establece que, entre todas las posiciones y velocidades posibles, solamente un pequeño grupo es el que se cumple en la realidad. En ese sentido, la ley excluye muchas posiciones y velocidades de los planetas, prediciendo que nunca se producirán. Por consiguiente, el cumplimiento de una ley viene a ser, simultáneamente, una predicción negativa. Sólo que, la misma constricción inexorable impuesta por la ley científica, aunada al conocimiento de las condiciones específicas —que son igualmente restrictivas—, es lo que permite predecir los acontecimientos futuros. En rigor, la posibilidad misma de hacer cualquier predicción implica, ineludiblemente, la existencia de algunas restricciones conocidas.

Algunas leyes expresan una relación causal, en virtud de la cual ciertos acontecimientos se producen necesariamente como efectos, por ser jus-

tamente las consecuencias de otros acontecimientos determinados como causas. Otras leyes son funcionales, porque solamente determinan la coexistencia necesaria de ciertos acontecimientos, conforme a una relación determinada. Y hay otras leyes que se refieren a relaciones estadísticas, las cuales permiten predecir los acontecimientos con una probabilidad determinada. Así, por ejemplo, el hecho de que un líquido fluya de un nivel superior a otro inferior, debido a la energía de gravitación, es algo necesario que obedece a una relación causal, como lo es la establecida por la ley de la conservación de la energía. En cambio, la segunda ley del movimiento de Newton expresa una relación funcional: la aceleración de un cuerpo es directamente proporcional a la fuerza ejercida sobre dicho cuerpo e inversamente proporcional a su masa inercial. Como es fácil advertir, no se indica que la fuerza anteceda o suceda a la aceleración y, por ende, no se le puede considerar ni como causa ni tampoco como efecto, sino simplemente como coexistente con la aceleración. Por otra parte, el hecho de que el calor fluya de un cuerpo más caliente a otro cuerpo más frío, debido a la energía térmica, es algo probable que obedece a una ley estadística. En ese caso, la ley representa la síntesis de las observaciones que se han hecho sobre un gran número de ocurrencias del acontecimiento en cuestión. Sin embargo, aunque es muy grande la probabilidad de que suceda lo antes dicho, también podría llegar a ocurrir que el calor fluyera del cuerpo frío al cuerpo caliente, sin que se violase por ello la ley de la conservación de la energía.

Las leyes que gobiernan a la naturaleza se encuentran vinculadas mutuamente, tal como se advierte claramente a través de las influencias recíprocas que se ejercen entre unas y otras. En rigor, no existen leyes aisladas, sino sistemas de leyes que rigen en los diversos niveles de la naturaleza. Y, debido a que dichos niveles coexisten, también existen simultáneamente los diversos sistemas de leyes que les corresponden. Más aún, existen leyes que pertenecen a varios sistemas a la vez, como sucede con la ley de la conservación y la transformación de la masa y la energía. En esas condiciones, cualquiera de los procesos que observamos en nuestra vida cotidiana se encuentra regido por el sistema de leyes de la física clásica. Pero, al mismo tiempo, en los niveles internos de ese mismo proceso, coexisten otros sistemas de leyes, como son las termodinámicas, las químicas, las atómicas y las nucleares. Cada uno de esos sistemas tiene su propia esfera de acción y, a la vez, hay una interacción de todos ellos, que se manifiesta de muchas maneras. Por otro lado, ese mismo proceso que observamos en nuestra vida diaria, está sometido exteriormente a diversas interacciones con otros procesos y, también, participa de las acciones correspondientes al nivel astronómico de la naturaleza, aun cuando sea solamente como un elemento ínfimo.

En la sociedad, al igual que en la naturaleza, existen leyes que gobiernan los diversos procesos y su desenvolvimiento. Algunas de esas leyes corresponden al desarrollo social en su conjunto y en todas sus etapas. En cambio, hay otras leyes que rigen únicamente en determinados sistemas sociales y que carecen de vigencia en los otros. Por consiguiente, tales leyes sociales específicas tienen la misma duración histórica que el régimen al cual pertenecen y caducan junto con éste. De esa manera, cuando surge una forma más avanzada de organización social, se empieza a restringir rápidamente el cumplimiento de las leyes del antiguo régimen, hasta que la nueva organización acaba por desplazar por completo a la vieja y hace desaparecer sus leyes específicas. Por lo tanto, como el desarrollo de la

sociedad siempre es obra de la acción humana, resulta que las leyes sociales peculiares de un régimen determinado se transforman como consecuencia de la actividad humana colectiva.

Por lo anterior, tenemos que entre las leyes de la naturaleza y las leyes de la sociedad existen coincidencias y diferencias importantes. En ambos dominios de la existencia, las leyes generales son permanentes y su cumplimiento es inflexible; aun cuando sus efectos se pueden hacer variar, cambiando las condiciones en que se cumplen. En la naturaleza, los diversos niveles de la existencia coexisten y no se pueden hacer desaparecer, ni tampoco las leyes específicas que los gobiernan. De acuerdo con los conocimientos comprobados, hay un solo nivel de la existencia que surgió después de los otros, que es el nivel biológico; y, también, se ha establecido la conjetura de que la vida podría llegar a desaparecer, sin perjuicio de que se mantuviera la existencia de los otros niveles (químico, termodinámico, atómico, nuclear, etc.). En cambio, se ha comprobado históricamente la desaparición de algunas formas de organización social y se puede considerar que todas ellas terminarán por desaparecer. Entonces, al desaparecer un régimen social, junto con éste desaparecen sus leyes específicas. Por consiguiente, transformando el régimen social se puede poner fin a la existencia de ciertas leyes, con el necesario surgimiento de otras leyes nuevas. Sin embargo, nunca se debe olvidar que, en tanto siga existiendo un régimen social, subsistirán las leyes respectivas y, por ende, su cumplimiento seguirá siendo inexorable.

La ley es una explicación que ofrece una perspectiva de conjunto y desde un nivel elevado, para las investigaciones ulteriores. Como es sabido, la ley explica tanto los procesos de los cuales fue extraída, como los otros procesos de la misma clase, aunque no se conozcan ni se hayan producido. La ley es una interpretación y una explicación de los resultados experimentales, en donde la razón ha introducido la continuidad, la precisión y la generalización. En todo caso, la ley es siempre aproximada, porque el científico interpola en los datos (ignorando las inflexiones y los máximos y mínimos que ocurren a veces en el intervalo entre dos datos) y extrapola más allá de lo abarcado por los datos (transponiendo los límites de lo experimentado). Por otra parte, la investigación determina después cada vez mejor los límites de aplicación de las leyes. Cuando una ley queda comprobada de manera innegable, se adquiere un conocimiento cierto que ninguna especulación posterior puede destruir, ni deteriorar, ni siquiera menoscabar. Si no sucediera así, sería imposible la actividad científica. Lo único que puede ocurrir es que se descubra la necesidad de formular otra ley, para explicar los procesos de una clase más general. En ese caso, dicha explicación tiene que ser única, tanto para el comportamiento de los procesos anteriores como el de los nuevos; y, al mismo tiempo, se ponen de manifiesto los límites del cumplimiento de la ley anterior. Por lo tanto, la nueva ley tendrá que adoptar necesariamente la forma particular de la ley anterior y confundise con ella, cuando se aplique al dominio de su cumplimiento específico. El procedimiento de oproximaciones sucesivas, entendido de esa manera, es el que permite avanzar a la ciencia. Así, las estructuras construidas objetivamente no son derribadas por los progresos logrados, sino que más bien quedan integradas en estructuras más amplias.

Una *teoría científica* está constituida por un conjunto de leyes ordenadas sistemáticamente, que permite explicar el comportamiento de los

procesos en un nivel determinado de la existencia o con respecto a un grupo definido de sus características. En consecuencia, la teoría es el sistema de leyes que explica los conocimientos correspondientes a una ciencia o una de sus ramas. Por ejemplo, las tres leyes del movimiento y la ley de la gravitación universal, establecidas por Newton, constituyen fundamentalmente la teoría de la mecánica clásica, la cual permite explicar la dinámica de los movimientos de todos los cuerpos terrestres y celestes. Una teoría es científicamente válida cuando explica los conocimientos de los otros procesos pertenecientes al mismo dominio, aun cuando todavía no hayan sido experimentados. Lo que es más, cuando se impone la necesidad de formular una teoría de mayor amplitud que la establecida hasta entonces, por haberse descubierto hechos que no pueden ser explicados, resulta indispensable que la nueva teoría, además de explicar los hechos conocidos (entre los cuales se encuentran incluidos los que impusieron la necesidad de hacer esa nueva interpretación explicativa), también permita la predicción o anticipación racional de otros hechos y haga posible su verificación experimental.

La estructura de una teoría científica cumple con las siguientes condiciones características:

1) Es una imagen racional formada para explicar el comportamiento de los procesos existentes en un dominio determinado;
2) Se basa en las regularidades observadas y comprobadas en el comportamiento de los procesos de ese dominio;
3) Entre todas las teorías posibles, la existencia objetiva acaba por imponer una sola y de un modo inequívoco; y eso puede ocurrir aun antes de que se recorra el sendero lógico conducente a la demostración de dicha teoría;
4) La única condición suficiente para mantener la validez de una teoría, es su comprobación experimental;
5) Es necesario que todos los elementos incluidos en una teoría o implicados por ella, permitan el reconocimiento de los procesos objetivos correspondientes, cuando éstos ocurran en el experimento o en el desarrollo racional;
6) Es indispensable que tanto el punto de partida de la teoría, como la estimación de sus resultados, solamente impliquen experimentos posibles;
7) De toda teoría establecida se infieren consecuencias lógicamente necesarias, cuya validez dependerá de los resultados experimentales correspondientes.
8) La consistencia de una teoría significa, en último extremo, que las consecuencias lógicas inferidas de ella no estén en desacuerdo con las experiencias realizadas previamente;
9) Las consecuencias inferidas de una teoría, por necesidad lógica, terminan por constituirse en las imágenes racionales de las consecuencias objetivamente necesarias del correspondiente comportamiento de los procesos existentes;
10) El dominio de una teoría se amplia con la diversificación de los experimentos y con la exactitud de las mediciones, llegando a comprender así muchos procesos no conocidos en el momento en que se estableció originalmente la teoría;
11) Aun cuando se hayan postulado varias teorías para tratar de explicar el comportamiento de los procesos de un cierto dominio, se prefiere aquella teoría que establezca la explicación más sim-

ple, en tanto que siga representando todos los resultados experimentales obtenidos;

12) De una teoría se va desprendiendo un cierto número de hipótesis parciales, siempre el más corto posible; tales hipótesis permiten la corrección experimental de la teoría, no obstante que el resultado de la prueba lleve a la refutación de alguna de esas hipótesis y a su consecuente sustitución;

13) La introducción de hipótesis exclusivas para cada nuevo comportamiento descubierto, conduce a la desaparición de la teoría;

14) Cuando se presenta la necesidad de introducir una nueva hipótesis fundamental en una teoría, ha llegado el momento de limitar el dominio de dicha teoría y de establecer, en su lugar, una nueva teoría con validez universal para todos los procesos entonces conocidos;

15) El desarrollo histórico de las teorías, junto con la sucesiva introducción de teorías cada vez más amplias, que incluyen a las anteriores como casos particulares, expresa la continuidad de los procesos existentes y permite la conexión sistemática y la analogía entre todas ellas y, por lo tanto, entre todos los dominios del universo.

Cuando una teoría se encuentra suficientemente desarrollada, hasta el punto de que se la pueda considerar completa, es susceptible de ser formulada rigurosamente, quedando expresada como un sistema formalizado. En esas condiciones, aunque dentro de las limitaciones que han puesto al descubierto las pruebas de Goedel y de Cohen, resulta que de una teoría se desprenden tres consecuencias importantes. En primer lugar, las leyes conocidas que forman parte de la teoría, se pueden inferir de ésta en la forma de teoremas (proposiciones susceptibles de demostración) o de empiremas (proposiciones susceptibles de verificación experimental). En segundo lugar, la teoría explica las leyes que la constituyen, agregando algo más que no está contenido en las leyes consideradas por separado, porque únicamente resulta del sistema en conjunto. En tercer lugar, la teoría predice y explica por anticipado otras leyes nuevas, cuya existencia no se sospechaba antes de que la teoría quedara formulada sistemáticamente. La mayoría de las leyes son descubiertas como resultado de experimentos y su formulación sigue la secuela señalada antes. Pero, también se pueden anticipar otras relaciones invariantes en el comportamiento de los procesos —y, por ende, otras leyes— partiendo de las leyes conocidas, siempre de acuerdo con el contexto de la teoría bien determinada, formulada estrictamente y con sus postulados esclarecidos. Solo que, naturalmente, lo que se formula entonces es una hipótesis, que requiere ser pasada por la prueba del experimento, antes de poderla incorporar al sistema de la teoría respectiva.

Los *principios científicos* expresan aquellas regularidades en el comportamiento de los procesos que se cumplen en varios niveles de la existencia o, inclusive, en el universo entero. En otras palabras, los principios son las leyes comunes a diversas disciplinas científicas. Por consiguiente, los principios forman parte integrante de varias teorías científicas y, algunos de ellos, de todas a la vez. Así, por ejemplo, la ley de la conservación de la cantidad de movimiento se cumple en todos los niveles de la existencia estudiados por la física, abarcando desde las galaxias hasta las partículas elementales; y por ende, dicha ley es un principio que forma parte integrante

de las teorías correspondientes a esos niveles. Otras ilustraciones las tenemos en el principio de la conservación de la carga eléctrica, el principio de la conservación y la transformación de la energía y la masa, la ley del valor (que es un principio para todos los regímenes en que existe producción mercantil) y el principio de la correspondencia entre las relaciones de producción y las fuerzas productivas (que se cumple en todas las formas de organización social).

Los principios científicos son constituyentes básicos de las teorías respectivas, al igual que las otras leyes específicas de cada una de ella. Cuando se consigue poner de manifiesto el modo particular en que se cumple la regulación expresada por un principio científico en un proceso concreto, entonces es posible obtener mayor información acerca de ese mismo proceso o, por lo menos, es posible predecir con una aproximación muy grande algunas de sus propiedades que todavía no sean conocidas experimentalmente. Los principios científicos también permiten diseñar la forma de las leyes nuevas que hagan falta en una teoría y sirven para predecirlas específicamente, hasta en aquellos casos en que los datos experimentales no sean suficientes para intentarlo de otra manera. En ciertas circunstancias, los principios científicos llegan a servir para predecir igualmente la estructura de las nuevas teorías, cuando se impone la necesidad de establecerlas.

En la realización de la actividad científica se parte de varios supuestos primordiales. Tales supuestos tienen, al comienzo de cada investigación, el carácter de *postulados,* es decir, de aseveraciones admitidas sin prueba. Pero después, en el curso de cada investigación, dichos postulados se comprueban una y otra vez, sin excepción alguna. Entre los postulados de que se parte para emprender cualquiera investigación, tenemos los tres siguientes:

I. El universo existe objetivamente, de manera independiente a la conciencia y la voluntad humanas; y, en particular, el hombre existe como parte integrante del universo.
II. Todos los procesos existentes, incluyendo el universo, que constituye el conjunto total de esos procesos, son susceptibles de llegar a ser conocidos por el hombre, ya sea de manera directa o indirecta.
III. El desarrollo entero de todos y cada uno de los procesos existentes, comprendiendo los acontecimientos extremos de su surgimiento y su desaparición, es predictible y verificable.

Además de los postulados primordiales del conocimiento científico, existen otros postulados de menor generalidad, cuyo cumplimiento se extiende a un grupo de ciencias, como ocurre, por ejemplo, con los postulados de las ciencias naturales. Igualmente, cada ciencia posee sus propios postulados específicos y, más todavía, cada rama científica tiene sus postulados peculiares. Así por ejemplo, son bien conocidos los postulados de la geometría.

En cada investigación concreta se parte de un conjunto de postulados que está formado por los postulados de la disciplina en particular, los del grupo de ciencias a que pertenece y los postulados generales del conocimiento científico. Al comenzar una investigación, dichos postulados son considerados estrictamente como hipótesis por verificar, junto con aquellas hipótesis que expresamente se trate de comprobar experimentalmente o de demostrar racionalmente. En esas condiciones, al terminar la investigación, ade-

más de los resultados que se obtengan sobre el propósito concreto, también se consigue una verificación específica del conjunto de postulados tomado como punto de partida. Como consecuencia de esa verificación, los postulados se convierten en explicaciones comprobadas para ese caso específico y, por esa misma razón, se transforman en *fundamentos* de la investigación efectuada. De esa manera, los postulados se van tornando en fundamentos de las investigaciones en que resultan comprobados. Sin embargo, en cada nueva investigación por realizar, a pesar de las verificaciones recibidas en los casos anteriores, los postulados recobran su carácter de hipótesis primordiales y, como tales, tienen que ser sometidos nuevamente a prueba. Así, los postulados se encuentran sujetos a un proceso continuo y reiterado de verificación, a través del cual adquieren, cada vez más y con mayor amplitud, el carácter de fundamentos del conocimiento. Por lo tanto, los postulados tienen el rango de fundamentos comprobados con respecto a los conocimientos ya adquiridos y, simultáneamente, mantienen su rango de supuestos primordiales en lo que se refiere a las nuevas investigaciones que se inician.

La selección y la formulación de los postulados de la ciencia no se puede hacer arbitrariamente. Por lo contrario, siempre es indispensable verificar primero si una cierta relación está implicada efectivamente en todos los conocimientos adquiridos en una disciplina, en un grupo de ciencias o en todas en conjunto, antes de poder considerar a dicha relación como fundamento de esos conocimientos y, por consiguiente, como postulado de las investigaciones posteriores. Otra cosa muy importante es que los conceptos que figuran en los postulados son, indefectiblemente, las categorías correspondientes al dominio científico en cuestión. Entonces, la confirmación de que los conceptos relacionados en una proposición son categorías de la disciplina considerada, constituye una contraprueba de que tal proposición es un postulado. En todos los casos, los fundamentos de cada disciplina han tenido que ser descubiertos en los conocimientos mismos, a través de una laboriosa investigación lógica y mediante su comprobación ineludible en la experiencia. Tal es el procedimiento objetivo que se sigue para llegar a la determinación de los fundamentos de una ciencia, que luego son empleados instrumentalmente como postulados de la misma.

El *juicio* es la formulación del pensamiento en la cual se establece una relación determinante entre dos o más conceptos. La relación que se formula en un juicio puede haber sido obtenida como resultado de un experimento o como consecuencia de un razonamiento. Por lo tanto, en cada juicio se expone la determinación de un conocimiento logrado o de una hipótesis por verificar. El juicio se formula para precisar, ampliar o profundizar la determinación de las propiedades, aspectos o conexiones de un proceso o de un grupo de procesos, cuyas características se encuentran expresadas en forma de conceptos. Entonces, en el juicio se establece la relación que dicho concepto tiene, o es posible que tenga, con otro concepto, para avanzar en su determinación. El concepto que recibe la determinación es denominado sujeto del juicio, en tanto que el concepto utilizado para determinarlo recibe el nombre de predicado. Por ejemplo, en el juicio; "Todos los peces tienen aletas", el concepto "pez" es el sujeto y el concepto "animal que tiene aletas" es el predicado. De esa manera, el concepto "pez" queda determinado por el concepto "animal que tiene aletas". Sin embargo, una reflexión más profunda nos lleva a descubrir que el concepto "animal que tiene aletas" también recibe cierta determinación del concepto "pez". En

consecuencia, resulta que el predicado de un juicio también es determinado por el sujeto. En algunos casos, esa determinación mutua entre el sujeto y el predicado es bastante ostensible. Por ejemplo, en el juicio "Toda ecuación de primer grado con dos incógnitas representa una recta y, a la vez, toda recta representa una ecuación de primer grado con dos incógnitas", se advierte claramente cómo es que los dos conceptos, "ecuación de primer grado con dos incógnitas" y "recta", se determinan recíprocamente en la misma medida. Pero, en la mayoría de los casos, sucede que la determinación del sujeto por parte del predicado es mayor y más notable, que la determinación correspondiente del predicado por parte del sujeto. Con todo, en sentido estricto, el juicio es una relación funcional entre dos términos que son, a la vez, determinantes y determinados, uno con respecto al otro. Por consiguiente, cada uno de los términos del juicio es simultáneamente sujeto y predicado.

El juicio se expresa lógicamente por medio de una *proposición,* ya sea utilizando las palabras del lenguaje ordinario, empleando símbolos matemáticos o por medio de diagramas. En todo caso, cada juicio se puede enunciar por medio de varias proposiciones diferentes, ya sean lingüísticas, simbólicas o gráficas. Y las varias proposiciones que expresan un mismo juicio, son equivalentes desde el punto de vista lógico. En su expresión verbal, los juicios pueden enunciarse como proposiciones categóricas, disyuntivas o condicionales. Las proposiciones categóricas son aquellas en donde la relación entre los términos se expresa mediante una afirmación o una negación. Así, por ejemplo, son proposiciones categóricas: "Toda mercancía tiene valor de uso" y, también, "Ningún reptil actual es volátil". En las proposiciones disyuntivas, la relación entre los términos del juicio se expresa por medio de las dos o tres alternativas que incluye. Por ejemplo, los mismos juicios anteriores se pueden enunciar como proposiciones disyuntivas, de la siguiente manera: "Los objetos que tenemos a nuestro alcance son mercancías con valor de uso, o tienen valor de uso sin ser mercancías, o bien, no tienen valor de uso ni son mercancías"'; y, análogamente, en el segundo caso: "Los animales actuales son reptiles que no vuelan, o son volátiles sin ser reptiles, o bien, no son volátiles ni tampoco reptiles". Por su parte, las proposiciones condicionales expresan la relación del juicio de tal manera que uno de los términos enuncia la condición y se denomina antecedente, en tanto que el otro término se encuentra condicionado y recibe el nombre de consecuente. Entonces, los juicios que venimos utilizando como ejemplos, se expresan como proposiciones condicionales del modo que sigue: "Si uno de los objetos que nos rodea es mercancía, entonces tiene valor de uso"; y, en el otro caso: "Si un animal actual es reptil, entonces no es volátil".

Para facilitar la comprensión y el manejo de las formulaciones del juicio, podemos representarlas igualmente por medio de diagramas. Un diagrama es una figura, generalmente plana, de la cual nos servimos para representar por medio de dibujos imágenes racionales, resolver problemas y figurar de una manera gráfica el comportamiento de los procesos. Los diagramas que utilizamos para representar los juicios, son figuras cuyas relaciones espaciales tienen la misma estructura lógica de la proposición correspondiente. Por lo tanto, entre el diagrama lógico de un juicio y cualquiera otra de sus expresiones verbales o simbólicas, existe la misma relación de equivalencia que se tiene entre la representación gráfica de una línea y su ecuación algebraica correspondiente. En otras palabras, el diagrama de un juicio es simplemente otro modo de representar la misma es-

tructura lógica del propio juicio. Y, por supuesto, utilizando los diagramas podemos ejecutar operaciones entre los juicios, inclusive inferencias y demostraciones.

En todas las disciplinas científicas se emplean términos especiales para expresar ciertos conceptos con brevedad y precisión. El conjunto de dichos términos constituye el vocabulario técnico de la disciplina en cuestión; y, cuando ese vocabulario se inserta en el lenguaje ordinario, se forma el lenguaje técnico de la misma disciplina. Muchas veces, esos términos técnicos son representados de manera más simple todavía, por medio de símbolos. En algunas disciplinas también se emplean otros símbolos para indicar las relaciones entre los términos y las operaciones que se pueden ejecutar con ellos. De esa manera es como la matemática, por ejemplo, ha creado un lenguaje simbólico completo para todas y cada una de sus ramas. El manejo de ese lenguaje simbólico permite ejecutar las operaciones matemáticas con mucha mayor exactitud y sencillez. Pero la matemática no es la única disciplina en la que se ha establecido un lenguaje simbólico. También en la lógica ha sido factible crear un lenguaje análogo, que permite expresar concisamente sus formas y operaciones más simples. La lógica simbólica es sencillamente la lógica expresada en un lenguaje simbólico. Dicho lenguaje es enteramente equivalente a las expresiones verbales o gráficas de las formas mismas y de sus operaciones. En particular, la lógica simbólica ofrece notables ventajas para la ejecución de las operaciones de análisis lógico y de inferencias deductivas. La lógica simbólica, sin embargo, todavía se encuentra muy lejos de comprender a la lógica entera y, por ende, en modo alguno constituye un equivalente de la lógica general.

Como es fácil advertir, a lo largo de nuestra exposición hemos utilizado un gran número de proposiciones, como son, por ejemplo: "La ciencia es la explicación objetiva y racional del universo"; "La comunicación es la transmisión de información"; "El método es el camino que conduce al conocimiento"; "La técnica se refiere siempre a una acción e incluye, necesariamente, la experiencia previa"; "En la cinemática se hace abstracción de las fuerzas que producen los cambios de movimiento"; "Los conceptos son imágenes o símbolos de los procesos existentes"; "Algunas leyes expresan una relación causal"; y "El juicio se expresa lógicamente por medio de una proposición, ya sea utilizando las palabras del lenguaje ordinario, empleando símbolos matemáticos o por medio de diagramas".

En la actividad científica, las proposiciones son empleadas constantemente y desempeñan funciones muy diversas. De esas funciones, ya nos hemos referido explícitamente aquí a la definición, la ley, la teoría, el principio, el postulado y el fundamento. En cada uno de esos casos, las proposiciones desempeñan funciones bien definidas. En la inferencia, las proposiciones tienen otras funciones importantes. Como se sabe, el razonamiento discursivo es una operación mediante la cual, partiendo de una o varias proposiciones, se deriva la validez, la posibilidad o la falsedad de otra proposición. Cuando esa operación se realiza rigurosamente y la proposición resultante se desprende con necesidad lógica de las proposiciones antecedentes, entonces el razonamiento es una inferencia. Pues bien, las proposiciones en que se basa la inferencia desempeñan la función de premisas y la proposición resultante cumple la función de ser la conclusión.

Otras dos funciones importantes de la proposición son las de asumir el papel de teorema o el de empirema, dentro de un sistema científico determinado. El teorema y el empirema no son proposiciones primitivas, sino derivadas o derivables de otras proposiciones del sistema, o de una o varias

operaciones experimentales. En particular, un teorema es una proposición que se obtiene directamente a partir de los postulados y definiciones del sistema o, indirectamente, con apoyo en otros teoremas previamente demostrados. La demostración formal de cada teorema tiene que establecerse mediante una secuencia finita de inferencias, en donde cada una de ellas tiene como premisas a los postulados y las definiciones, o bien, a otros teoremas ya demostrados. En consecuencia, todo teorema perteneciente a una disciplina se ha de poder derivar, lógicamente, del grupo de postulados del sistema respectivo. De esa manera, el teorema es fundamentalmente una proposición demostrable. Por su parte, el empirema es una proposición obtenida como resultado de la experimentación y que es susceptible de ser integrada al sistema de la disciplina de que se trate, siguiendo procedimientos análogos a los empleados en el caso de los teoremas. En efecto, en el caso de una ciencia experimental, como la física por ejemplo, lo que se hace es establecer la interpretación o representación del sistema teórico en un modelo objetivo concreto, ya que en tales condiciones es posible investigar si los empiremas son válidos, en relación con los procesos reales a los cuales se refieren. En muchos casos, el empirema se obtiene primero, en calidad de hipótesis, como consecuencia de una serie de razonamientos; y, después, tiene que ser sometido a la prueba experimental. En todo caso, el empirema es fundamentalmente una proposición verificable en el experimento.

II. ESTRUCTURA

5. MARCO DE REFERENCIA

Como ya lo hemos dicho, el universo es el conjunto de todos los procesos que existen objetivamente. En ese conjunto se encuentra incluido el hombre como una de sus partes integrantes; y también están comprendidos los diversos nexos existentes entre el hombre y los procesos naturales, al igual que las relaciones sociales establecidas entre los hombres. Sabemos que el universo es un conjunto de procesos, porque todos los objetos existentes se encuentran sometidos a movimientos y transformaciones constantes, en un desarrollo ininterrumpido que abarca el surgimiento y la desaparición de los propios procesos. A la vez, cada proceso se encuentra conectado con los otros procesos, ya sea directamente por contigüidad o, indirectamente, a través de otros procesos. Además, se trata de vinculaciones activas y recíprocas, esto es, de interacciones. En tales condiciones, los movimientos y los cambios que sufre un proceso influyen en los cambios y los movimientos de los otros procesos y, a su vez, reciben la influencia de ellos. Dicha influencia se ejerce de muchas maneras y en grados bastante diferentes, hasta el punto de que el surgimiento de un proceso nuevo se produce como resultante de la transformación de otros procesos y, llegado el caso, la desaparición de un proceso consiste en su transformación en otros procesos. De esa manera, cada proceso surge, se desarrolla y acaba por dejar de existir. Tal cosa ocurre con todos los procesos existentes sin excepción, comprendiendo desde las partículas elementales hasta las galaxias. Aunque, por supuesto, la duración de cada clase de procesos es muy variable, ya que va desde una pequeñísima fracción de segundo, en algunas partículas elementales, hasta decenas de millares de millones de años, en el caso de las estrellas. Sin embargo, los procesos no surgen de la nada, sino que son el resultado de la transformación de otros procesos; y, a la vez, tampoco se aniquilan cuando desaparecen, puesto que siempre se convierten en otros procesos.

Junto con su existencia objetiva, la propiedad más general, a la vez primaria y fundamental, del universo es el movimiento. Todos los procesos que lo constituyen, lo mismo que las partes de esos procesos y su conjunto total, se encuentran en movimiento. El universo existe en movimiento. O sea, dicho de otro modo, la forma primordial de la existencia objetiva es el movimiento. El movimiento es un resultado de la acción recíproca existente entre todas y cada una de las partes del universo, es decir, que se trata de una propiedad intrínseca e inseparable de los procesos existentes. En su significación más amplia, el movimiento comprende todas las variaciones y transformaciones que ocurren en el universo, desde las simples translaciones y rotaciones espaciales, hasta los cambios y mutaciones más com-

plejos, incluyendo el pensamiento humano. La existencia objetiva del universo se manifiesta como existencia de la matería en movimiento. Por lo tanto, como forma fundamental de la existencia, el movimiento participa del carácter objetivo y universal de la materia. Más aún, la materia y el movimiento son de tal manera inseparables, que no existe materia inmóvil, ni tampoco existe movimiento inmaterial.

El movimiento se manifiesta siempre a través de las formas concretas en que varían y se transforman los procesos de la anturaleza, de la sociedad y del pensamiento. Por consiguiente, cada movimiento concreto se muestra en condiciones particulares, determinadas cualitativa y cuantitativamente por las propiedades específicas del proceso y por sus interacciones con los otros procesos. De esa manera, el movimiento pone al descubierto su particularidad en cada uno de los procesos existentes y en el curso de su desarrollo. Ahora bien, al examinar las distintas formas de movimiento es como se llegan a descubrir las propiedades que dichas formas tienen en común y las diferencias específicas existentes entre ellas. Así, la relación entre la universalidad del movimiento y la particularidad de sus manifestaciones concretas, representa la conexión entre el carácter común —contenido en los caracteres particulares de todos los movimientos— y el carácter relativo, condicional y transitorio de cada uno de los movimientos concretos y singulares. Por otra parte, un mismo proceso se mueve siempre de varias maneras simultáneamente. Y cada forma de movimiento, inclusive aquella que pudiera ser considerada como la más simple, está constituida por la composición de otros movimientos. En consecuencia, no es posible considerar como primaria a una forma de movimiento, sino únicamente dentro de restricciones definidas y con carácter relativo. Además, un movimiento cualquiera siempre es capaz de transformarse en otro movimiento de la misma especie o en otras formas de movimiento. Por lo tanto, cada proceso existente, lo mismo que el conjunto universal de todos los procesos, exhibe simultáneamente una multitud de movimientos y de conversiones recíprocas de unos movimientos en otros. En todo caso, el estudio del movimiento permite destacar y explicar las propiedades que muestran los procesos existentes en su actividad.

El universo es un conjunto infinito de procesos que se encuentran interconectados y que actúan recíprocamente unos sobre otros. No se trata de un conjunto de cosas terminadas por completo, sino de un complejo en el cual los procesos, a veces aparentemente estables, pasan por un cambio ininterrumpido de devenir y de caducidad. Esos procesos se encuentran en un desarrollo incesante, tanto cada uno de ellos en lo particular, como en sus diversos agrupamientos y todos en su conjunto. La causa de ese desenvolvimiento radica en los procesos mismos, consiste en sus contradicciones internas y en las oposiciones entre unos y otros. Debido a ese conflicto interno y a su contradicción externa es que los procesos existentes se mueven de diversas maneras y se transforman dentro de un desarrollo universal interminable. La contradicción en el seno de los procesos existentes y entre los diferentes procesos, es una propiedad fundamental de la existencia. La contradicción interna es la causa básica del desenvolvimiento de cada proceso, mientras que las interconexiones y la interacción mutua con otros procesos, siempre en oposición, constituyen las causas secundarias de dicho desenvolvimiento. Entonces, las causas externas son las condiciones del cambio, en tanto que las causas internas forman la base del cambio. De ese modo, las contradicciones externas se hacen operantes a través de las contradicciones internas y se manifiestan en la manera como condicionan a

estas últimas. Por eso, los efectos de las causas externas, por poderosos que sean, son el resultado de la perturbación interna que producen en el proceso en cuestión.

La existencia se manifiesta en aspectos contradictorios que tienden mutuamente a excluirse. Todos los procesos de la naturaleza, de la sociedad y del pensamiento están formados por elementos contradictorios y antagónicos. Para ilustrarlo, mencionaremos algunos ejemplos:

Una dirección cualquiera siempre tiene dos sentidos opuestos.
Una rotación puede ser en dos sentidos contrarios: de este a oeste, y de oeste a este.
Existen objetos naturales y artificiales que son enantiomórficos, o sea, que tienen la misma configuración espacial, pero uno está al revés del otro, como sucede con la mano izquierda y la mano derecha, un zapato derecho y un zapato izquierdo, un tornillo izquierdo y uno derecho, o un cristal levógiro de ácido racémico y un cristal dextrógiro del mismo ácido.
Los números enteros y los números no-enteros o fraccionarios, los números racionales y los irracionales, y los números reales y los imaginarios.
Las operaciones matemáticas de sumar y restar, de multiplicar y dividir, de diferenciar e integrar.
La acción y la reacción, en la tercera ley del movimiento de la mecánica clásica.
La continuidad y la discontinuidad de la energía radiante (una parte de la cual es la luz visible) y de las partículas elementales, ya que en ambos casos se trata de corpúsculos (discontinuidades) que se mueven ondulatoriamente (continuidad).
La carga eléctrica negativa y la positiva.
La fisión y la fusión nucleares.
Los sexos masculino y femenino en animales y vegetales.
El catabolismo y el anabolismo de los organismos vivos.
Los nervios y las arterias aferentes y eferentes en los vertebrados.
La expansión y la contracción de los protistas.
Los músculos extensores y contráctiles.
El esclavista y el esclavo.
El señor feudal y el siervo.
El capitalista y el trabajador asalariado.
El carácter social de la producción y la forma privada de la apropiación, en el régimen capitalista.
La producción y el consumo, en una sociedad cualquiera.

El desarrollo de los procesos es una pugna entre contrarios que, finalmente, llegan a identificarse. Y es en esa lucha y mediante esa identificación, que se produce el movimiento, los saltos bruscos, el desarrollo gradual de los procesos y las interrupciones en su desarrollo, la transformación recíproca entre los polos opuestos, la destrucción de lo caduco y el surgimiento de lo nuevo.

El conflicto entre los contrarios se manifiesta de diferentes modos. En primer lugar, cualquier determinación implica necesariamente la determinación de su opuesto correspondiente; porque la existencia de un proceso (o de una propiedad) implica ineludiblemente la existencia del proceso (o de la propiedad) opuesto. Entonces, para comprender algo, es preciso distinguirlo de su opuesto y, por ende, conocer ese opuesto; ya que su exis-

tencia depende de la existencia de otras cosas, las cuales se engendran con ella en una relación de contradicción. Además, los opuestos siempre llegan a identificarse. Aun cuando en cierto momento dos propiedades contradictorias aparezcan como excluyentes entre sí, sin embargo, esa oposición radical se supera en un momento posterior, cuando las propiedades antagónicas se identifican por la coincidencia de sus características. Por otro lado, cada proceso existente es una unidad de elementos contrapuestos. Porque, en rigor, toda manifestación particular de esos elementos, implica la relativa abstracción de los otros elementos, sin que por ello dejen de existir estos últimos. Así, cuando se acusa destacadamente la existencia de un elemento determinado, entonces lo que ocurre es sencillamente que el correspondiente elemento contrario está ocupando una posición relativamente secundaria y menos manifiesta. Pero, en tanto no se opere la transformación dialéctica que resuelve y supera la contradicción, jamás desaparece alguno de sus elementos contradictorios. Por consiguiente, cada proceso constituye el desarrollo continuo de un conflicto entre fuerzas, movimientos, impulsos, influencias, acciones y tendencias de sentidos opuestos. En todo proceso se manifiesta objetivamente su existencia contradictoria, ya que sus propiedades opuestas son las que lo constituyen de una manera intrínseca y, a la vez, son las que producen su comportamiento. Por eso, en un sentido lógico estricto, las determinaciones contradictorias de un proceso, o bien, la determinación simultánea de procesos opuestos, no sólo pueden ser, sino que efectivamente son compatibles y válidas al mismo tiempo.

La interacción de los elementos integrantes del universo, existe igualmente entre el hombre y los otros procesos objetivos. Por eso, los procesos exteriores ejercen su acción sobre el hombre y producen un reflejo activo en su conciencia, provocando en consecuencia una reacción definida que se manifiesta en la forma de *actividad práctica* humana sobre el exterior. Entonces, por la manera y en la medida en que esa actividad influye sobre el curso de los procesos, permite al hombre comprobar o refutar las reflexiones suscitadas por las acciones ejecutadas con anterioridad. La actividad práctica del hombre causa, entonces, la alteración de las condiciones en las cuales se desenvuelven los procesos objetivos. Por medio de esa actividad es como el hombre realiza sus experiencias, que no son otra cosa que el resultado de su interacción con los otros procesos existentes. Luego, cuando conjuga esas experiencias con sus reflexiones racionales, consigue ampliar dichas experiencias y encuentra la manera de penetrar en aquellos aspectos de los procesos que no se muestran de un modo aparente ni espontáneo. En esas condiciones, la actividad práctica humana sobre el universo es la fuente del conocimiento, el instrumento principal de la investigación científica y el medio de su comprobación.

En la práctica se expresa el movimiento objetivo del pensamiento y, con base en ella, el pensamiento refleja el movimiento de los procesos existentes y sirve de fundamento para actuar sobre su existencia. Por medio de la práctica es como se determina el comportamiento de los procesos y como son descubiertas las leyes que gobiernan ese comportamiento. Su determinación se logra como resultado del análisis concreto de los procesos, el examen riguroso de sus reflejos activos en el pensamiento y el estudio penetrante de las consecuencias que producen dichos reflejos al ser sometidos a la prueba de la práctica. Por lo tanto, la certeza de cualquier desarrollo racional radica en su confirmación práctica. Inclusive en el caso de las abstracciones extremas de la matemática, la prueba de su validez y de su consecuencia interna se encuentra, en último término, en su aplicación a los

procesos objetivos. La actividad racional parte directamente de los resultados obtenidos en la práctica y conduce reiteradamente a la propia práctica, tanto para verificar la validez de sus conclusiones, como para encontrar su aplicación en los otros conocimientos y en el amplio dominio de la técnica. El pensamiento no puede modificar por si solo a la realidad. Podemos formular planes racionales tendientes a transformar el mundo y efectuar revoluciones en el dominio del pensamiento, pero con ello no lograremos hacer que cambien efectivamente los procesos existentes. El desenvolvimiento racional nos señalará el camino y los medios que debemos emplear para transformar los procesos objetivos; pero las ideas únicamente cobran vida y eficacia cuando se convierten en acciones prácticas. La actividad racional no es autónoma ni independiente, sino que se basa y se desenvuelve en la actividad práctica. Sin embargo, para que la actividad práctica sea fecunda, se requiere desarrollar racionalmente el conocimiento, pero siempre de manera que la realidad objetiva quede reflejada en el pensamiento. La práctica es el fundamento de la razón y la fuerza propulsora de su desenvolvimiento. La ciencia entera surge de las necesidades de la práctica y se constituye como una síntesis de los resultados obtenidos en la práctica. Sin embargo, el conocimiento científico no se limita a expresar escuetamente los resultados de la práctica, sino que formula previsiones sobre el futuro de la misma práctica y anticipa racionalmente sus posibilidades. De esa manera, basándose siempre en la actividad práctica, la ciencia explora las perspectivas de su propio progreso y del avance social.

En su acción recíproca entre el hombre y el resto del universo, la práctica adapta incesantemente la naturaleza a las necesidades humanas y crea nuevas necesidades que enriquecen la naturaleza humana. De ese modo, a través de su actividad práctica, el hombre se desarrolla y adquiere el conocimiento acerca de su situación en el universo, que le permite moverse y comportarse de manera apropiada. En rigor, el hombre conoce en tanto y en la medida en que entra en relación con los procesos existentes y en que, por su actividad, cambia al mundo. Así es como el hombre crea continuamente su historia. Porque, desarrollando su actividad práctica, el hombre se produce a si mismo como autor y consecuencia, a un tiempo, de los cambios que realiza en las condiciones de su existencia. La práctica nos presenta al hombre en su manifestación más profunda y peculiar: como resultado de su propio trabajo. La sociedad produce al hombre y, a su vez, es producida por el hombre a través de su actividad práctica. El propio conocimiento científico se destaca acusadamente como la integración y el producto de la práctica social acumulada. En cada época histórica, tanto la orientación de la investigación científica, como los problemas abordados y las explicaciones que se proponen para resolverlos, se encuentran conectados con los problemas sociales planteados prácticamente en esa época y, además, acaban por ser sometidos a prueba en los esfuerzos que se realizan para encontrar solución a dichos problemas sociales. De ese modo, los problemas fundamentales de la ciencia, en cada momento de su desenvolvimiento histórico, reflejan y representan a los problemas de la práctica social. Por lo tanto, la práctica social comprende las complejas relaciones existentes entre los hombres y respecto a cada hombre consigo mismo, en la integración de su conciencia, en la creación y la satisfacción de sus necesidades, en el desarrollo de sus instituciones políticas y sociales, en su desarrollo artístico y científico, en una palabra, en todo el proceso histórico de la humanidad.

La actividad práctica constituye el criterio objetivo para verificar la

validez de cualquier conocimiento. Porque es a través de la práctica y sólo por ella, como es posible determinar la conformidad entre el desenvolvimiento racional de una explicación científica y el desarrollo objetivo de los procesos naturales y sociales. El desenvolvimiento de la ciencia en su integridad incluye su verificación reiterada en la práctica. La única manera de conocer y de comprender, es actuando sobre aquello que se trata de conocer. En todo caso, para determinar un proceso, e inclusive para descubrirlo, se necesita ejercer una acción sobre dicho proceso, trabando así un contacto dinámico y recíproco con éste. Después, en la medida en que el hombre encuentra la manera de producir un proceso y de modificar su comportamiento de acuerdo con sus propósitos, se hace más profundo el conocimiento adquirido sobre ese proceso. Es precisamente la alteración de los procesos existentes, y no solamente la mera existencia objetiva de ellos, lo que sirve de base primordial e inmediata para el pensamiento humano. Y es en la medida en que el hombre ha aprendido a cambiar esos procesos, como se ha desarrollado su pensamiento y se ha acrecentado y afinado su inteligencia.

Los propios problemas del conocimiento surgen en la práctica y conducen después a la práctica. Si bien es cierto que la investigación científica se desarrolla igualmente en la dimensión racional, también es innegable que las reflexiones racionales se apoyan en la actividad práctica del experimento, ya que parten directamente de sus resultados y conduce, de manera indefectible y reiterada, a la propia práctica en otros experimentos. La actividad práctica se desarrolla como conocimiento teórico, solamente para volver a la actividad práctica realizada en un nivel de verificación y de aplicación. En el ejercicio de su actividad centífica, el hombre descubre y determina las manifestaciones del universo y, lo que es más, provoca la producción de otras manifestaciones que lo inducen a nuevas acciones teóricas y prácticas y éstas, por su parte, lo llevan a hacer nuevos descubrimientos y otras determinaciones; y así prosigue, de manera constante y en sucesión interminable. El conocimiento científico es, entonces, la unidad activa del desarrollo teórico y de la práctica experimental. Pero, en todo caso, la práctica supera al desarrollo teórico; porque, además de poseer el rango de la universalidad, comprende a la realidad inmediata, directa y concreta.

6. *HIPÓTESIS*

La investigación científica es una actividad incesante, en la cual los resultados obtenidos en la experimentación y en el desarrollo teórico son utilizados, después, como nuevos puntos de partida para seguir avanzando. Dichos resultados son generalizados, analizados, sintetizados y combinados de muchas maneras, hasta lograr constituir con base en ellos explicaciones posibles, tanto de los nuevos hechos descubiertos como de los conocidos con anterioridad. Esas explicaciones posibles son las hipótesis.

Cada vez que se descubre experimentalmente un nuevo hecho, o cuando se llega racionalmente a una conclusión nueva, que presente divergencias con respecto a la explicación establecida anteriormente, se hace necesario formular una nueva hipótesis. La hipótesis es indispensable, tanto para proseguir la investigación que impuso su formulación, como para emprender las otras investigaciones que sean suscitadas por ella. Al principio, la hipótesis puede estar apoyada solamente en unas cuantas observaciones o en escasas conclusiones. Esto es, que puede consistir en una mera conjetura. Pero, después, a medida que se van acumulando otros datos provenientes de la experimentación y del desarrollo racional, la hipótesis cobra cuerpo, se afina, se ajusta y se hace más plausible, avanzando siempre en el propósito de establecer una explicación mejor y de abandonar el terreno de la conjetura. En todo caso, en cuanto se ha formulado rigurosamente una hipótesis —que es un supuesto teórico—, se desprenden de ella algunas consecuencias —que son otros tantos supuestos teóricos— que son sometidas posteriormente a prueba, ya sea ejecutando otros experimentos, bien realizando otras operaciones racionales o, en fin, haciendo ambas cosas.

Tanto los resultados de las experiencias realizadas, como ls conclusiones inferidas de razonamientos rigurosos, sirven de base para establecer hipótesis. En todo caso, la hipótesis expresa las posibles conexiones entre los hechos conocidos o entre las posibilidades inducidas y, por ende, constituye un intento de explicación de esos hechos y de tales posibilidades. La hipótesis debe abarcar los nuevos hechos y las propiedades posibles, para explicarlos conjuntamente con los hechos y las propiedades conocidos antes. Más todavía, aunque la hipótesis se formula en el terreno de la posibilidad; desde luego permite imaginar nuevos hechos y otras relaciones. Entonces, la reflexión acerca de esas secuelas sirve para corregir de inmediato la hipótesis, perfilando con mayor claridad sus alcances. Los nuevos conocimientos adquiridos y las hipótesis se encuentran conectados por una relación de condicionante a condicionado, en sentido mutuo, pues tanto resulta condicionada la consecuencia por la hipótesis, como ésta es determinada, a su vez, por la consecuencia; dando lugar así a la precisión de la hipótesis y a la elevación de su punto de vista.

Antes de formular una hipótesis es necesario reunir suficientes resultados experimentales y conclusiones teóricas, comparar un número tan grande como sea posible de datos pertinentes, disponiendo para ello de una buena documentación y, en caso dado, ejecutar otras inferencias para utilizar sus conclusiones. Sin embargo, para establecer una hipótesis se requiere seguir el camino de lo conocido a lo supuesto y, por consiguiente, lo más importante viene a ser el empleo de la imaginación. Sin duda, la formulación de hipótesis se encuentra fuera del rigor formal de la lógica. Entonces, para ayudar a la imaginación racional es necesario utilizar otros recursos, como son la extrapolación, la ampliación, la sustitución y la analogía. La extrapolación consiste en extender una explicación a un dominio más amplio de aquel en donde se encuentra ya comprobada. La ampliación estriba en extender el dominio de la explicación, a la vez que se introducen cambios en ella. La sustitución se apoya en la suposición de que un cierto proceso tiene una determinada propiedad que antes haya sido descubierta para otro proceso diferente. La analogía es la postulación de una propiedad, con base en el establecimiento de una correspondencia biunívoca de las relaciones entre propiedades de dos conjuntos diferentes de procesos.

Por otra parte, es conveniente aclarar que la hipótesis es diferente de la generalización, porque su validez es tentativa y siempre tiene carácter explicativo. Además, la generalización es comprobable directa y exactamente de la misma manera, en tanto que la hipótesis se comprueba siempre por sus consecuencias y de muy variadas maneras. Todavía más, la hipótesis se modifica en función de los resultatdos que se obtienen al someter a prueba sus consecuencias. Por su parte, la generalización surge después de haber hecho un número suficientemente grande de observaciones particulares: es un salto de "algunos", o de "muchos", a "todos". En ciertas condiciones, cuando se puede analizar el "caso general", entonces la generalización se establece inmediatamente como conclusión de ese análisis. En cambio, la hipótesis tiene que ser inventada, es un producto del pensamiento científico y de la imaginación racional en su nivel más elevado. Como ejemplo de ese ejercicio de la imaginación científiica, tenemos el de Dalton al formular la hipótesis del "átomo", el de Darwin al establecer la hipótesis de la "selección natural", el de Mendeleiev al construir la "tabla periódica de los elementos" y el de J.J. Thomson al postular la hipótesis de "electrón".

Para formular científicamente una hipótesis, es indispensable satisfacer varias condiciones, que son:

1) La hipótesis tiene que estar apoyada efectivamente en conocimientos comprobados;
2) La hipótesis tienen que encontrarse de acuerdo con la concepción científica del universo;
3) La hipótesis debe ofrecer una explicación suficiente de los hechos y de las conclusiones que pretende abarcar;
4) La explicación ofrecida por la hipótesis debe ser la más amplia y profunda, entre todas las posibles que se puedan considerar en ese momento;
5) La hipótesis necesita estar relacionada, de manera clara y precisa, con el sistema de conocimientos correspondiente a los hechos y conclusiones en cuestión;
6) La hipótesis debe ser susceptible de conducir racionalmente (inclusive por medio de cálculos matemáticos) a la predicción teórica

de algunos hechos reales, ya que esas predicciones son justamente las que se someten después a prueba, para verificar la hipótesis; y,

7) Las consecuencias previstas por una hipótesis tienen que ser verificables en un experimento posible.

Cuando una hipótesis es formulada conforme a tales exigencias, no solamente cumple bien su función, sino que también orienta el sentido de la investigación subsiguiente, tanto en la experimentación como en el desenvolvimiento racional. En todo caso, una hipótesis cuyas predicciones no sean verificables, es tan inútil científicamente como una hipótesis de la cual no se pudieran desprender consecuencias.

Las hipótesis científicas constan de dos partes: una base o cimiento y un cuerpo o estructura. El cimiento está formado por los conocimientos ya comprobados en los cuales se apoya objetivamente la hipótesis. En cambio, el cuerpo de la hipótesis es la explicación supuesta, es decir, la estructura de relaciones que se edifica como explicación, sobre el cimiento de los hechos conocidos. Entonces son las consecuencias extraídas de la estructura de la hipótesis las que tienen que ser sometidas a prueba (puesto que el cimiento ya está comprobado), para saber si se verifican o no las conexiones lógicas elaboradas en el terreno de la posibilidad. Las hipótesis, una vez formuladas, permiten razonar lógicamente, es decir, inferir y hacer predicciones verificables que, a su vez, inducen a la ejecución de los experimentos necesarios y a la realización de nuevos operaciones racionales. De ese modo, al trabajar con una hipótesis, se está siguiendo el camino que parte de lo supuesto para llegar a conocer lo nuevo.

En el momento en que se postula una hipótesis, muchas veces no están bien delimitados sus rasgos, los cuales se van precisando luego poco a poco, en contacto con los hechos. Desde luego, la hipótesis tiene que incluir los hechos todavía no explicados (que son justamente el asunto de la hipótesis), enlazándolos en una sola explicación con los hechos ya conocidos. La hipótesis debe facilitar la ejecución de inferencias que lleven a predecir otros hechos, a sugerir nuevas experiencias y a formular otras hipótesis. En suma, la hipótesis debe abrir nuevos senderos a la ciencia. Con cada hipótesis se establece provisionalmente una relación determinada o se imagina una cierta estructura que explique el comportamiento de los procesos. Después se buscan hechos que resulten adecuados para poner a prueba esa relación o semejante estructura hipotéticas. Muchas veces, la hipótesis misma sugiere el método conveniente para explorar lo que propone. En otras ocasiones, se hace necesario descubrir específicamente el método más adecuado. En todos los casos, el método experimental es el procedimiento general mediante el cual se someten rigurosamente las hipótesis, a la prueba de la práctica.

La manera como Newton llegó a descubrir la ley de la gravitación universal, es muy ilustrativa al respecto. Primero se basó en la experiencia, mediante la observación sistemática del mundo, especialmente la recopilada en las tablas astronómicas. Entonces, asoció el movimiento de la Luna con el movimiento de la caída de una piedra. Después vino la reflexión lúcida sobre el análisis de los hechos observados, por medio de su razón penetrante. En seguida, postuló una conjetura imaginativa y aguda, acerca del carácter de la regularidad que pudiese dar razón de los hechos en cuestión. Esa conjetura la afinó en su hipótesis inicial de que la atracción terrestre se extendía hasta la Luna y de que su magnitud era inversamente proporcional al cuadrado de su distancia al cuerpo atraído. El fundamento

de su hipótesis lo encontró en los conocimientos geométricos profundos y amplios que poseía, lo mismo que en la analogía que estableció entre dos procesos heterogéneos, como son los movimientos de la piedra y de la Luna. Newton consideró que la trayectoria de la Luna podía estar dirigida hacia la Tierra, por la misma razón que provocaba la caída de la piedra, es decir, porque la Tierra ejercía una fuerza de atracción en los dos casos. En cuanto a que la magnitud de esa fuerza estuviera en una relación inversamente proporcional al cuadrado de la distancia, tal cosa le fue sugerida por su comprensión geométrica. Entonces sometió la hipótesis inicial a una confirmación por medio del cálculo, obteniendo así únicamente una verificación a medias. Empero, no encontró motivo suficiente para negar una sola de sus consecuencias. Acrecentada de esa manera su confianza, se suscitó en Newton una hipótesis mucho más general, la de que toda partícula material ejerce sobre cualquiera otra partícula material una atracción, y que ésta es calculable en cada caso. Siguió un largo periodo dedicado a la ejecución de complicados cálculos matemáticos, mediante los cuales Newton comprobó que todos los movimientos celestes conocidos eran implicados por la hipótesis generalizada. Como consecuencia, la gravitación universal se convirtió en una ley con pleno fundamento. Más tarde se sucedieron muchas comprobaciones observacionales, entre las cuales podemos mencionar la reaparición del cometa Halley y el descubrimiento del planeta Neptuno. Finalmente, en 1957 se efectuó el primer experimento astronómico, con el lanzamiento del primer satélite artificial de la Tierra, el *sputnik,* que verificó completamente la hipótesis formulada por Newton.

Al quedar formulada una hipótesis, ésta tiene una cierta plausibilidad. La plausibilidad es la admisibilidad o posibilidad de ser atendida. La plausibilidad de una hipótesis resulta de las operaciones que han dado lugar a su formulación, de la convicción que produce y de la confianza que se le atribuye. Antes de intentar la verificación de una hipótesis, resulta conveniente someterla a un examen racional, para saber si de ella o de su negación se puede obtener como conclusión un absurdo manifiesto. Lo absurdo es aquello que viola las leyes de la lógica. Un concepto absurdo es aquel cuyos términos son incompatibles. Una proposición absurda es la que contiene o implica una inconsecuencia. Un razonamiento absurdo es el que resulta ser falso por inconsecuencia. Entonces, se tiene:

a) si de la afirmación de la hipótesis se puede concluir un absurdo manifiesto, entonces la hipótesis es menos plausible;
b) si de la negación de la hipótesis se puede concluir un absurdo manifiesto, entonces la hipótesis es más plausible; y,
c) Si resulta que ni de la afirmación de la hipótesis, ni de su negación, se puede concluir un absurdo manifiesto, entonces la plausibilidad de la hipótesis mengua.

Luego, es necesario explicitar las consecuencias lógicas de la hipótesis. Esta es la fase en que la matemática desempeña comúnmente un papel importante. Por supuesto, los hechos que han servido para elaborar la hipótesis tienen que encontrarse necesariamente entre las consecuencias de ella, ya que la hipótesis ha sido formulada deliberadamnte para implicarlos. Pero, también debe comprender como consecuencias otros hechos, desconocidos cuando se formuló la hipótesis. Después se calculan sistemáticamente las consecuencias, previendo matemáticamente, en su caso, el resul-

tado de experimentos no realizados y ni siquiera imaginados hasta entonces. En seguida, se someten a prueba experimental esas consecuencias, ejecutando los ensayos planeadas. Como fruto de esas pruebas, la plausibilidad de una hipótesis se incrementa:

a) cuando se verifican sus consecuencias lógicas;
b) cuando se refuta alguna hipótesis incompatible con ella; y,
c) cuando se verifica la existencia de las condiciones que deben acompañar lógicamente a la hipótesis en cuestión.

Por lo contrario, la plausibilidad de una hipótesis decrece:

a) cuando no se verifica alguna de sus consecuencias lógicas;
b) cuando se verifica una consecuencia de alguna hipótesis incompatible con ella; y,
c) cuando se verifica que no existen las condiciones que deberían acompañar lógicamente a dicha hipótesis.

Como resultado de su prueba en el experimento, la hipótesis puede quedar confirmada por entero, o puede quedar refutada completamente, o bien, puede quedar confirmada parcialmente y mostrar la necesidad de modificarla en otra parte. En el primer caso, que es poco frecuente, cuando se obtiene su confirmación plena en los resultados de un número suficiente de experimentos o en un experimento decisivo, la hipótesis se convierte de inmediato en una explicación comprobada. En el segundo caso, que tampoco es frecuente, cuando la hipótesis es refutada por los resultados experimentales, se impone la necesidad de abandonar la hipótesis rechazada, para formular en su lugar una nueva hipótesis. En el tercer caso, que es el más frecuente, se hace necesario modificar la hipótesis en aquellos aspectos señalados directamente por los resultados del experimento y, luego, se vuelve a someter la hipótesis modificada a la prueba experimental consiguiente. A menudo, es indispensable introducir varias modificaciones sucesivas en la hipótesis inicial, antes de conseguir que las conexiones formuladas como posibles, representen efectivamente a los enlaces objetivos entre los procesos explicados racionalmente por la hipótesis.

Entonces, cuando el resultado experimental verifica el cumplimiento de las consecuencias de la hipótesis, ésta queda comprobada; mientras que, cuando dicho resultado es diferente del previsto por la hipótesis, es indispensable cambiarla parcialmente; y, cuando los resultados se encuentran en oposición a las consecuencias previstas, la hipótesis queda refutada y se abandona decididamente. Empero, lo común y corriente es que tenga que realizarse una serie de experimentos de prueba, tanto para llegar a la comprobación, como para modificar la hipótesis o para rechazarla. Solamente en las ciencias más desarrolladas, el número de experimentos necesario puede ser abreviado extraodinariamente. En ese caso, el plan sistemático es tan claro y preciso que, prácticamente, se pasa casi directamente de una, o de unas cuantas pruebas, a la comprobación o la refutación experimental de la hipótesis. Por supuesto, en cualquier caso, siempre se puede repetir el experimento cuantas veces se quiera o se necesite. En la física, por ejemplo, sucedió así con la prueba experimental del incumplimiento de la conservación de la paridad en las interacciones débiles entre las partículas elementales, cuya anticipación teórica fue hecha por Lee y Yang a mediados de 1956; y su verificación práctica fue realizada por Wu y sus colaboradores, a principios de 1957. Tal situación revela una gran confianza en la repetibilidad de las observaciones, una extraordinaria precisión en la eje-

cución de las operaciones experimentales y un control enorme en las condiciones impuestas a los procesos experimentados. En cuanto a la refutación de una hipótesis, como ésta se formula como una explicación general (aunque sea en plan de suposición), es suficiente con encontrar experimentalmente un caso de incumplimiento de sus consecuencias. Así ocurrió por ejemplo, con el experimento realizado por Michelson y Morley en 1887, que sirvió para descartar en definitiva la hipótesis del "éter". Por lo demás, inclusive en aquellos casos en que una hipótesis resulta ser falsa, no obstante eso sirve como instrumento para hacer avanzar el conocimiento. Tal cosa sucedió, de manera notable, precisamente con la comprobación de la inexistencia del "éter", que llevó primero al descubrimiento de la contracción de Lorentz-Fitzgerald y, luego, condujo a Eisntein a la formulación de la teoría de la relatividad.

Una hipótesis puede llegar a transformarse en una explicación comprobada, a través de un proceso de refinamiento y de profundización crecientes, como resultado de los experimentos ejecutados para conseguir su verificación. De esa manera, la realidad objetiva, manifestada en la experiencia directa, impone su dominio sobre la razón. Por eso, cuando una hipótesis queda comprobada, entonces se afianza su racionalidad y a ésta se agrega la objetividad. En cambio, cuando una hipótesis queda refutada en los experimentos en que es sometida a prueba, se demuestra que la posibilidad desentrañada racionalmente no se cumple en la realidad objetiva. Por ende, la hipótesis que expresa tal posibilidad fallida carece de objetividad. Pero además, entonces ocurre una transformación importante dentro del proceso del conocimiento, ya que, al mismo tiempo que se impone la necesidad de construir racionalmente una nueva hipótesis plausible, fundada en los resultados experimentales recién hallados, también se descubren, por medio de la razón, los elementos que sirven para demostrar la falta de racionalidad de la hipótesis refutada o, lo que viene a ser equivalente, su imposibilidad. De tal manera que, cuando se pone en claro que una hipótesis carece de objetividad, aquella pierde igualmente el carácter racional que se le atribuía. Hasta ese grado alcanza la primacía de la realidad objetiva sobre el pensamiento racional.

En cualquier investigación científica se deben formular explícitamente todas las hipótesis que se utilicen. Pero el investigador debe ser moderado y prudente en el uso de hipótesis. Por lo tanto, no debe formular hipótesis tan especialmente convenientes para cada caso, que acabe por establecer explicaciones singulares, las cuales realmente no axplicarían nada. El investigador emplea la hipótesis como un medio de solicitar una respuesta de los procesos a que se refiere y en las condiciones bien definidas en que opera. En el transcurso de la investigación, el científico establece también hipótesis auxiliares, lo mismo que hipótesis de trabajo. Las hipótesis auxiliares son explicaciones heurísticas, esto es, que le ayudan a resolver los problemas de la investigación, aunque generalmente no le sirven para demostrar ni verificar los resultados. Por lo tanto, las hipótesis auxiliares son abandonadas cuando se alcanzan los resultados perseguidos. Son como especies de ademes, necesarios para edificar la construcción, pero que no quedan incorporadas a la misma, cuando la construcción se termina. Las hipótesis de trabajo son conjeturas que sirven para dar un paso, o unos cuantos pasos en la investigación y que, luego, se desechan y hasta se olvidan. Para establecer una hipótesis de trabajo, el investigador no tiene que preocuparse de fundamentarla. Sin embargo, en algunas ocasiones, lo que empieza siendo una hipótesis auxiliar o una hipótesis de trabajo,

acaba por convertirse en una hipótesis básica de la investigación, en cuyo caso si es imprescindible esmerarse en que cumpla las condiciones señaladas para una hipótesis científica propiamente dicha. En fin, es pertinente advertir que en una investigación centífica, jamás es posible hallar respuestas definitivas, simplemente porque tampoco existen problemas definitivos. En todo caso, cualquier descubrimiento que se realiza y cada hipótesis que se comprueba, traen consigo el planteamiento de nuevos problemas por resolver y, sin duda, la importancia científica de una solución encontrada puede estimarse, justamente, por la cantidad de nuevos problemas que suscita.

7. EXPLICACIÓN

La explicación científica describe, de manera objetiva y racional, las diversas formas en que se manifiestan los procesos existentes, distingue las fases sucesivas y coexistentes observadas en su desarrollo, desentraña sus enlaces internos y sus conexiones con otros procesos, determina los requisitos que son necesarios para que ocurra un acontecimiento y suficientes para llevarlo a efecto y, en fin, encuentra las condiciones y los medios para hacer más eficaz la intervención humana en el curso de los procesos, ya sae dándoles mayor celeridad, haciéndolos más lentos, procurando que se hagan más intensos, volviéndolos tenues o alterándolos de otras diversas maneras. La explicación científica, por ser objetiva, representa la existencia de los procesos en las diferentes modalidades en que se manifiesta y es, a la vez, el reflejo mental que nos formamos acerca de dichos procesos y de su comportamiento. La objetividad de la explicación permite que pueda ser verificada y comprobada en cualquier momento y por parte de cualquier perona. Por su parte, el carácter racional de la explicación científica permite encontrar las conexiones posibles entre los conocimientos adquiridos, construyendo así una red muy densa de vínculos, implicaciones y otros tipos de relaciones entre los procesos conocidos. Y, luego, dichas conexiones racionales son sometidas a la prueba decisiva de la experiencia, ajustándolas, modificándolas y afinándolas cuantas veces se hace necesario, hasta conseguir que representen los vínculos que efectivamente existen entre los procesos reales.

Como ya lo hemos dicho, una hipótesis (o explicación posible) tiene que pasar por un laborioso proceso de pruebas experimentales y de reflexiones racionales acerca de los resultados de tales pruebas, antes de convertirse en una explicación comprobada. En esas condiciones, la explicación es una generalización de los experimentos y, al propio tiempo, es un conocimiento comprobado experimentalmente. Por eso es que las explicaciones confirmadas ofrecen una perspectiva de conjunto y un punto de vista firme para orientar las investigaciones posteriores. Una explicación comprobada es científicamente válida porque explica tanto los hechos de los cuales fue extraída, como otra multitud de hechos semejantes que todavía no se conocen o que ni siquiera se han producido. Además, como la validez de la explicación científica se conquista rigurosamente por medio de su verificación experimental, entonces ya no sufre menoscabo alguno con el avance de la investigación. Porque, aun cuando se lleguen a descubrir otros procesos cuyo comportamiento difiera del previsto por una explicación determinada y comprobada antes, lo único en que esta última queda afectada es en el hecho de que se ponen al descubierto los límites de su cumplimiento. En rigor, tal explicación siempre tuvo esos límites, pero sólo hasta ese momento

es cuando se ponen de manifiesto. Lo que entonces se plantea es la necesidad de formular una nueva hipótesis, que establezca una explicación única, tanto para los procesos previstos por la explicación anterior, como para los nuevos procesos divergentes de aquella. Sin embargo, la explicación anterior sigue teniendo la misma validez y se cumple con igual necesidad, dentro del dominio para el cual fue establecida. Lo que es más, cuando se logra dejar bien establecida y confirmada una explicación más general, se advierte que la explicación anterior resulta ser un caso particular de la nueva. Por consiguiente, la validez de una explicación comprobada objetivamente en el experimento, ya no se modifica, ni tampoco sufre pérdida alguna, cuando el avance de la ciencia extiende su dominio. Inclusive, cuando la nueva explicación, que abarca conjuntamente los hechos antes conocidos y los recientes, es aplicada al dominio de la explicación restringida, entonces adopta la forma de ésta y se confunde con ella. Tal cosa sucede, por ejemplo, con la geometría no-euclidiana, que incluye como un caso particular a la geometría euclidiana y se confunde con ella al ser aplicada dentro de su campo específico. Y lo mismo ocurre con la física relativista, que tiene como caso particular a la física clásica y se convierte en ésta, cuando es aplicada al dominio de los procesos físicos clásicos.

Toda función lógica es una explicación, de manera expresa y explícita. El concepto representa la existencia de los procesos y, al mismo tiempo, suministra una explicación de ellos. El juicio exhibe las interrelaciones del proceso con los otros componentes del universo y, al hacerlo, explica los conceptos que lo constituyen. La inferencia es siempre explicativa de la conclusión, que es extraída por intermediación de las premisas. Las categorías, por ser los conceptos más generales de un dominio científico, explican a todos los otros conceptos pertenecientes a ese mismo campo. Las hipótesis son explicaciones posibles de los procesos y de su comportamiento, que sirven de supuestos para emprender una investigación y, en caso de verificarse, se convierten en explicaciones comprobadas. Las leyes son explicaciones de los cambios y transformaciones que se producen regularmente en el comportamiento de los procesos. Las teorías explican a las leyes. Los principios explican a las teorías. Y los postulados y fundamentos explican a los principios.

Explicar es comprender, estableciendo una determinación precisa de lo que era desconocido, vago u oscuro. También es mostrar que la existencia o el comportamiento de un proceso se encuentra implicado por el comportamiento de otros procesos. Igualmente, explicar es poner en claro cuales son las leyes, teorías, principios generales y postulados que sirven de fundamento a un cierto acontecimiento y de los cuales se desprende necesariamente. Explicar es dar a conocer la razón de un hecho, o dilucidar el motivo de lo que parecía extraño o inconcebible. La explicación establece las condiciones o causas, esto es, los *explicadores* necesarios y suficientes para que un acontecimiento, que es el *explicando,* haya resultado o pueda esperarse. El explicando es, así, una consecuencia de las condiciones que lo explican. Los explicadores son de dos tipos: a) acontecimientos particulares y condiciones específicas; y, b) uniformidades o regularidades expresadas por leyes generales. El explicando resulta ser una consecuencia necesaria y suficiente de los explicadores, solamente cuando éstos son considerados en su conjunto. En ese caso, la explicación se expresa mediante una proposición condicional:

Si se presentan las condiciones C_1, C_2, ... C_n, y se cumplen las leyes L_1, L_2, ... L_n, entonces se produce el acontecimiento A.

O bien, a la inversa, cuando se trata de explicar un acontecimiento pasado. En todo caso, cuando conocemos un proceso hasta el punto de haber logrado explicarlo y, además, esa explicación ha quedado comprobada, entonces estaremos en condiciones de determinar el comportamiento del proceso en cuestión en el pasado, el presente y el futuro.

Las condiciones o explicadores de una explicación, pueden ser: 1) necesarias, pero no suficientes; 2) suficientes, sin ser necesarias; y, 3) necesarias y suficientes. Las condiciones necesarias son indispensables, pero su solo cumplimiento no verifica la explicación. Las condiciones suficientes verifican la explicación, pero son dispensables y, por ende, puede no presentarse alguna de ellas, con tal que se cumpla otra condición suficiente. Por último, las condiciones necesarias y suficientes son las que tienen que cumplirse ineludiblemente y que, al mismo tiempo, aseguran la verificación de la explicación. Las condiciones pueden encontrarse entrelazadas de muchos modos, en tal forma que: dos condiciones necesarias que sean insuficientes aisladamente, se pueden convertir en suficientes, cuando coexisten; también, una condición que sea necesaria para un caso general, puede ser suficiente para una caso particular; igualmente, una condición necesaria para un caso específico puede, en cambio, no serlo para el caso general; y, así existen muchas relaciones entre las condiciones que determinan el cumplimiento de una explicación. Por ejemplo, la presencia de oxígeno es una condición necesaria, pero insuficiente, para que se produzca la combustión de una sustancia. A su vez, la elevación de la temperatura hasta un punto crítico, es otra condición necesaria, pero tampoco suficiente para que se produzca la combustión. Mientras que, la conjugación de las dos condiciones antes dichas, es necesaria y suficiente para que se produzca la combustión en una sustancia. Por otra parte, para que un triángulo sea regular, es suficiente con que sea equilátero. Pero, en el caso de un polígono de más de tres lados, dicha condición de equilateralidad es necesaria, pero insuficiente para que el polígono sea regular. Lo mismo sucede con respecto a la igualdad de los ángulos, que en el caso de un triángulo es condición suficiente para que sea regular, mientras que en un polígono de cuatro o más lados resulta ser solamente una condición necesaria. En cambio, la condición de que un polígono sea equilátero y equiángulo simultáneamente, es suficiente para que sea regular.

La determinación de una condición necesaria se expresa mediante la siguiente fórmula condicional:

Si no se cumple x, entonces no se cumple y,

en donde x es la condición necesaria, en tanto que y es el explicando. En tal caso, basta con que no se cumpla la condición necesaria, para que el explicando no se verifique.

Por otra parte, la fórmula de una condición suficiente se enuncia así:

Si se cumple x, entonces se cumple y.

En este caso, el cumplimiento de la condición suficiente es una prueba de que se verifica el explicando, pero no constituye una prueba general para cualquiera otro caso, en donde puede cumplirse o no cumplirse la condición suficiente.

Finalmente, la determinación de una condición necesaria y suficiente, tiene su expresión en la fórmula que sigue:

Se cumple y cuando, y sólo cuando, se cumple x.

En semejante caso, si se tiene una prueba general que se cumple siempre. Por ejemplo, podemos expresar una condición necesaria, diciendo:

Si un organismo no es autotrófico, entonces no es vegetal.

En cambio, en la expresión que sigue a continuación, tenemos una condición suficiente:

Si un organismo es fototrófico, entonces es vegetal.

Y, en fin, una condición necesaria y suficiente la tenemos enunciada en la siguiente proposición:

Un vegetal es fototrófico cuando, y solamente cuando, contiene clorofila.

La explicación de un acontecimiento puede consistir en la especificación de sus causas, las cuales forman un conjunto, más o menos complejo, de circunstancias o condiciones particulares. Por supuesto, la explicación implica, además, el cumplimiento de ciertas leyes generales y, en algunos casos, de determinados principios. Las leyes y los principios implicados se consideran estrictamente universales, puesto que afirman que, en todos los casos en que se presentan ciertas condiciones, se produce tal o cual resultado. Las leyes determinan el comportamiento de los procesos en condiciones bien definidas y dejando de tomar en cuenta otras muchas condiciones, que son consideradas aleatorias o azarosas. Por cierto, uno de los descubrimientos fundamentales de una ciencia tan avanzada como es la física, ha sido el reconocimiento de la necesidad de especificar con precisión el dominio de las condiciones que resultan pertinentes para cada clase de procesos. Dentro de una explicación, aquellos elementos que no constituyen las regularidades caracterizadas por las leyes, son denominadas condiciones específicas o, simplemente, condiciones. De esa manera, hasta donde alcanza el dominio de la explicación, las leyes y las condiciones, consideradas conjuntamente, explican el comportamiento de los procesos. Por supuesto, cada vez que es posible y conveniente agregar una nueva especificación, ésta pasa a formar parte integrante de la explicación, siendo considerada como una condición adicional.

Por ejemplo, hay una ley que establece que cualquier sólido, cuando se calienta, aumenta de volumen. Entonces, el acontecimiento resultante, el incremento concreto del volumen, queda determinado por las condiciones específicas, que son la sustancia de que está formado el sólido, la temperatura inicial y el grado a que se eleva la temperatura. En este caso, una condición adicional sería la de especificar la presión a la cual se encuentra sometido el sólido, ya que la variación de la presión produce efectos inversamente proporcionales sobre el aumento del volumen por calentamiento. En otras ocasiones, lo que sucede es que se llegan a determinar leyes que abarcan un dominio más amplio. Como ilustración podemos referirnos a la caída de los cuerpos, que inicialmente se pudo explicar por la relación entre las distancias recorridas y los tiempos transcurridos; y al movimiento de los planetas alrededor del Sol, que se pudo explicar por medio de las áreas barridas por los radios vectores y los tiempos transcurridos. Después, esas uniformidades fueron subsumidas en leyes más inclusivas y en teorías más comprensivas. En efecto, como sabemos, la caída de los cuerpos y los movimientos planetarios se pueden explicar también como consecuencias especiales de las tres leyes del movimiento y la ley de la gravitación newtonianas; que igualmente explican los movimientos de los cometas, de los satélites naturales y artificiales, de los péndulos, de las mareas y de otros muchos procesos. De ese modo, se amplió y profundizó la explicación, a la vez que se hicieron ostensibles los límites de las explicaciones anteriores.

En otros casos, la explicación establece que, cuando se presentan ciertas condiciones específicas, entonces se produce tal o cual efecto con una probabilidad determinada. Así, por ejemplo, cuando en un grupo de pacientes que sufren de un cierto tipo de fiebre, se observa que la administración de una

dosis determinada de un antihistamínico les produce la curación, entonces se puede aseverar que esa droga cura con cierta probabilidad, o bien, con una determinada frecuencia relativa en una sucesión de casos. Otro ejemplo ilustrativo es cuando tenemos a nuestra disposición un disparador de electrones, que puede lanzar a nuestra voluntad un electrón, unos cuantos, muchos, hasta un torrente, o bien, no disparar ninguno. Entonces, si los electrones disparados pasan a través de un orificio suficientemente pequeño (como el practicado por la punta de un alfiler, por ejemplo) pueden alcanzar finalmente una pantalla en la que se muestran cuando chocan, porque producen una chispa. En tal caso, si no se dispara electrón alguno, tampoco se produce chispa alguna. Si se dispara un solo electrón, se produce una chispa, pero sin que se pueda determinar previamente, con precisión, la posición de la pantalla en donde se producirá tal chispa. En cambio, si se lanza un torrente de electrones, entonces se producirá la conocida figura de la difracción (análoga a la de la luz), con una serie de anillos concéntricos y en donde se alternan los que tienen muchas chispas con los que no tienen ninguna. Por consiguiente, en ese caso se cumple la causalidad en su aspecto cualitativo, aunque no se cumpla rigurosamente como determinismo o causalidad cuantitativa. Tenemos una explicación causal, con base en la cual podemos decir que, cuando se presentan ciertas condiciones específicas, entonces se produce un cierto efecto con una probabilidad determinada.

En las circunstancias a que nos acabamos de referir, el explicador no implica necesariamente al explicando, sino que le confiere una cierta probabilidad, de acuerdo con la ponderación lógica del apoyo inductivo que se le atribuya. La explicación probabilística también corresponde a leyes generales y comprende la especificación de condiciones; pero el acontecimiento resultante no se produce siempre de manera necesaria, sino contigente. La explicación probabilística admite grados, muestras que la explicación necesaria establece una disyunción excluyente; ya que, en este último caso, los explicadores implican o no implican, tajantemente, un determinado explicando. El grado de la probabilidad puede llegar a ser sumamente elevado, esto es, aproximarse mucho a la certeza. Desde luego, las mismas leyes consideradas como de cumplimiento necesario, han sido establecidas mediante una verificación finita y nunca exhaustiva. Entonces, es importante distinguir entre el grado de confirmación que posee una explicación y la validez que se le otorga. En algunos casos, las explicaciones se formulan de manera incompleta o elíptica, porque se sobrentiende que el lector o el oyente es capaz de llenar los casos omitidos. Aunque, también, hay ocasiones en que realmente se desconocen, pero se tiene la esperanza de encontrarlos. En esas condiciones, basta con mencionar (o llegar a determinar, en su caso) los datos faltantes, ya sean leyes o condiciones, que se habían considerado tácitamente, para que se complete la explicación. Como se puede advertir, se trata entonces de explicaciones completables. Sin embargo, hay todavía otros casos en que la explicación es parcial debido a que, con los conocimientos adquiridos, únicamente se puede explicar en parte el explicando. En tales casos, la explicación solamente se podrá completar cuando se adquieran los conocimientos faltantes. En fin, también se tienen explicaciones esquemáticas, que son aquellas que no son suficientemente explícitas y específicas para poder ser consideradas como explicaciones incompletas o parciales.

8. PREDICCIÓN

Uno de los postulados fundamentales en que se basa la actividad científica, es la consideración de que el desarrollo de los procesos existentes es predictible y verificable, incluyendo los acontecimientos extremos del surgimiento y la desaparición de cada proceso. En rigor, la predictibilidad y la consiguiene verificabilidad de las predicciones hechas, se encuentran implicadas de manera necesaria en los conceptos, los juicios, las inferencias, las hipótesis, las leyes, las teorías, los principios, los postulados y, en general, en cualquiera explicación científica lo mismo que en todos los elementos integrantes de cada una de ellas. Más todavía, la mera consideración de que fuese imposible hacer predicciones, o de que éstas no se pudieran verificar, equivaldría a negar rotundamente el conocimiento científico.

La predicción de un acontecimiento futuro es el resultado de una inferencia, o de una serie de inferencias, establecida con base en los conocimientos adquiridos acerca del estado presente y de las leyes que gobiernan el comportamiento de un proceso, o conjunto de procesos, mediante la extrapolación de esos datos conocidos hasta un intervalo de tiempo futuro. Porque, cuando conocemos un proceso hasta el punto de explicarlo, podemos determinar su comportamiento tanto en el presente, como en el pasado y en el porvenir. Por predicción entendemos tanto el proceso de ejecución de la inferencia, o serie de inferencias, como la expresión de su resultado. El objeto de la predicción puede ser un acontecimiento que surgirá en el futuro, la repetición de un acontecimiento ya ocurrido, o bien, un acontecimiento que ya esté sucediendo, pero que todavía no sea conocido. En ese último caso, la predicción se refiere a alguna de las manifestaciones futuras del acontecimiento respectivo. El acontecimiento previsto puede consistir en la invariancia del comportamiento del proceso o conjunto de procesos, en la transformación de dicho comportamiento, en la desaparición de un cierto proceso, en la producción de algún proceso nuevo, o bien, en cualquiera incidente que se pueda llegar a presentar en el desarrollo del proceso o procesos en cuestión.

La predicción es la aplicación de una explicación ya determinada a los acontecimientos futuros. La explicación y la predicción científicas son, simplemente, dos aspectos distintos de una y la misma relación lógica. Dicha relación es la que se establece entre los procesos existentes y su determinación por medio del conocimiento científico. La diferencia consiste, principalmente en que, en la explicación, la relación se refiere a la determinación de acontecimientos ya realizados; mientras que, en la predicción, la relación corresponde a la determinación por anticipado, o predeterminación, de acontecimientos que todavía no se realizan. La predicción estriba en aplicar

una explicación conocida para los acontecimientos ya sucedidos en una clase de procesos, a los acontecimientos que se producirán entre los procesos de esa misma clase. De esa manera, la predicción implica una translación temporal de la explicación establecida, desde un intervalo de tiempo pasado y conocido, hasta otro intervalo de tiempo futuro y por conocer. En todo caso, se considera que, si en ese intervalo de tiempo futuro se van a cumplir las leyes y se van a presentar las condiciones que especifican el acontecimiento, entonces dicho acontecimiento ocurrirá conforme a la predicción en cuestión. Como se puede advertir, la posibilidad de efectuar esa translación temporal, sin que se alteren las características de los procesos, ni tampoco el curso de su comportamiento, se apoya en la persistencia de las condiciones y en la invariancia de las leyes ante la translación temporal; lo cual viene a ser una consecuencia de que lo que se ejecuta así es una operación de simetría, que se basa en la homogeneidad y la congruencia del tiempo. En algunas ocasiones, es posible determinar con precisión el intervalo de tiempo futuro en que ocurrirá el acontecimiento. Pero, en otros casos, el lapso que transcurrirá antes de que se produzca el acontecimiento previsto, queda indefinido cuantitativamente. Sin embargo, en ambos casos se puede tener la confianza de que dicho acontecimiento se producirá tal y como ha sido previsto.

Hacer una predicción significa conocer algo por anticipado, independientemente de los medios por los cuales se llegue a dicho conocimiento. Por consiguiente, la invención y la creación son dos formas de la predicción, que se llevan al cabo por medio de la imaginación científica, guiada inteligentemente por la razón y apoyada firmemente en los conocimientos comprobados. Igualmente, cuando se logra anticipar teóricamente la existencia de nuevos procesos, lo mismo que de propiedades o de relaciones desconocidas, que después se verifican en el experimento, también se trata ciertamente de otra forma de la predicción. Empero, la predicción de la existencia de nuevos procesos es menos frecuente que la predicción del comportamiento futuro de procesos ya conocidos. La predicción se basa en la concepción del universo establecida por la ciencia y se realiza aplicando el método científico. Cuando los conocimientos adquiridos son ordenados sistemáticamente, entonces es posible insertar luego los nuevos conocimientos dentro del sistema, sin que se altere la ordenación; o bien, en caso de producirse, las alteraciones son tan leves que no afectan al sistema en su conjunto. En esas condiciones, la ordenación establecida por la ciencia es válida para formular predicciones acerca de los acontecimientos futuros, lo mismo que de los pasados, ya sea mediante interpolaciones o extrapolaciones, por la predeterminación de posibilidades o, inclusive, formulando conjeturas. La predicción requiere del reconocimiento de que los acontecimientos futuros son el resultado o la consecuencia de los acontecimientos presentes; de manera análoga a como estos últimos son el resultado o la consecuencia de los acontecimientos pasados. Por lo tanto, la predicción es posible valiéndonos de las condiciones anteriores, tanto presentes como pasadas, y de las leyes que rigen el comportamiento de los procesos, las tendencias de su desenvolvimiento y los cauces de su evolución. En particular, ese análisis de las leyes es el que permite determinar el carácter, la magnitud, la dirección y el sentido de los cambios que habrán de suceder en el futuro, con respecto al presente y al pasado.

Cuando las leyes que intervienen en la explicación son causales, entonces la predicción de un acontecimiento futuro es una consecuencia lógica inmediata de su aplicación a ciertas condiciones específicas. El carácter

causal de las leyes hace que las predicciones, o explicaciones en tiempo futuro, queden implicadas biunívocamente por las explicaciones en tiempo presente, con tal que sean suficientemente completas en cuanto a la situación a la cual se refieren. Sin embargo, la certidumbre de una predicción no puede radicar solamente en la corrección lógica de las inferencias efectuadas, sino que debe ser verificada ineludiblemente en la experiencia, al transcurrir el lapso predeterminado, para quedar confirmada. En esas condiciones, la predicción causal consiste en ejecutar una inferencia, o serie de inferencias, para extraer una consecuencia particular, partiendo de las premisas que describen una situación concreta, o bien, que constituyen una representación abstracta de la misma.

Cuando las leyes explicativas son funcionales, la predicción también es inmediata. Porque, una vez conocida la ley que vincula a dos o más acontecimientos, A y B, respectivamente, de dos clases de procesos, entonces se sabe que, si se produce A, necesariamente se producirá B (o bien, B_1 o B_2 o . . . B_n). En tal caso, el carácter funcional de las leyes hace que las predicciones queden implicadas unívoca o multívocamente por las explicaciones en tiempo presente, siempre que éstas sean suficientemente completas acerca de la situación a la cual se refieren. La implicación será unívoca, cuando se anticipe la producción de un sólo acontecimiento en el futuro; y será multívoca, en el caso de que se pueda predecir uno u otro acontecimiento, entre varios posibles. No obstante, como sucede en el caso anterior, la certeza de la predicción no puede radicar en la corrección del cálculo de los valores de la función, sino que, además, debe ser sometida a la prueba de la experiencia, para quedar comprobada. En esas condiciones, la predicción funcional consiste en ejecutar un cálculo para encontrar un valor particular, o los diversos valores posibles, partiendo de los valores que se adjudiquen a las variables de la función que representa abstractamente la situación concreta.

Cuando las leyes integrantes de la explicación son estadísticas, entonces las predicciones son probables siempre. El carácter estadístico de las leyes hace que las predicciones queden implicadas multívocamente por las explicaciones en tiempo presente, con tal que el conjunto de referencia sea suficientemente grande para que la aplicación del cálculo de las probabilidades pueda considerarse fidedigna. En general, las predicciones estadísticas se hacen con un margen de incertidumbre y se expresan por medio de una función de probabilidad, o de un grupo de funciones de probabilidad. Después, cuando las predicciones son sometidas a la prueba de la experiencia, se verifica alguna de las posibilidades, dentro de la distribución de probabilidades establecida, convirtiéndose así en certeza para el acontecimiento particular que efectivamente se produce. Pero, en cambio, seguirá subsistiendo cierta incertidumbre acerca de cuál será el acontecimiento que se producirá en la experiencia siguiente. De esa manera, la predicción estadística consiste en ejecutar un cálculo para encontrar los valores de probabilidad de las diversas alternativas, partiendo de los valores que se adjudiquen a las variables en la función, o grupo de funciones de probabilidades, que sirve de medio de expresión a la explicación en cuestión.

Cuando las leyes explicativas son causales, o cuando son funcionales de las que admiten implicaciones unívocas, y las condiciones se encuentran bien determinadas, entonces es posible hacer predicciones con la mayor exactitud. En cambio, si las implicaciones que se desprenden de las leyes funcionales o estadísticas son multívocas, y las condiciones están determina-

das de una manera necesaria, entonces el cumplimiento de cada una de las alternativas de la predicción resulta aleatorio, por más que se haya conseguido determinar con toda precisión la probabilidad correspondiente a cada alternativa. En rigor, nunca debemos olvidar que todas las predicciones científicas son establecidas con cierta probabilidad. Lo que sucede es que algunas de esas predicciones tiene una probabilidad tan cercana a la unidad, que podemos considerarlas como certidumbres, para cualquier propósito científico o práctico; y, por consiguiente, en tales casos, le atribuimos un carácter univoco a la predicción respectiva. El grado de conocimiento adquirido sobre el comportamiento de una clase de procesos, nos permite establecer una cierta distribución de probabilidad acerca de los acontecimientos posibles en dicho comportamiento. En muchos casos, como sucede con frecuencia en la física clásica, por ejemplo, la amplitud de esa distribución de probalidad se puede reducir tanto, que resulta despreciable la imprecisión en cuanto a la predicción. Sin embargo, en otros casos, inclusive dentro de la misma física clásica, esa reducción en la distribución de probabilidad tiene límites, que son insalvables, ya sea de modo transitorio o permanente, con lo cual se hace apreciable la imprecisión con respecto a la predicción.

Ultimamente, las investigaciones realizadas en el dominio de la cibernética, han aportado un nuevo recurso para formular predicciones. Dicho recurso es aplicable a los sistemas relativamente aislados. Un sistema relativamente aislado es aquel que recibe influencia del resto del universo, pero solamente a través de ciertas vías específicas llamadas entradas y que, al mismo tiempo, ejerce influencia sobre el resto del universo, pero únicamente mediante ciertas vías específicas denominadas salidas. Cuando el estado distinguible presente de cualquiera de las salidas de un sistema relativamente aislado, se encuentra determinado siempre unívocamente por los estados distinguibles pasados y presentes de todas las entradas del propio sistema, entonces se trata de un sistema determinado localmente. Pues bien, en algunas ocasiones, resulta que un sistema determinado localmente sólo es observable de una manera parcial, o sea, que no es posible observar los estados distinguibles presentes en un momento dado, en todas sus entradas. En ese caso, el comportamiento del sistema parece resultar impredictible para el investigador. Pero, entonces, se puede utilizar el recurso de considerar que la historia del sistema ejerce su influencia, a través de alguna forma de memoria. En ese caso, la adjudicación de memoria al sistema, como parte de la explicación de su comportamiento, es tanto como admitir que dicho sistema no se puede observar íntegramente en la actualidad. Sin embargo, utilizando tal recurso, el investigador restituye al sistema su cualidad de ser predictible. Por otra parte, a medida que los procesos científicos se hacen más complejos, los cálculos lógicos y matemáticos necesarios para establecer predicciones, resultan ser más complicados. Pero, afortunadamente, las computadoras se han convertido en auxiliares sumamente eficientes para la ejecución de tales cálculos. Por otro lado, el desarrollo riguroso del razonamiento por analogía, permite establecer predicciones con una probabilidad cada vez mayor y sin tener que pasar analíticamente por todas las etapas lógicas estrictas.

En general, independientemente de la amplitud, profundidad y precisión de los conocimientos pertinentes, únicamente resulta predictible un intervalo de tiempo relativamente corto del futuro. Más aún, cualquiera predicción es siempre parcial y se encuentra restringida a los procesos mejor conocidos. Por otra parte, con frecuencia, la precisión de las predicciones disminuye enormemente al paso y medida en que el futuro, al

cual se refieren las predicciones, se aleja del presente. Además, una predicción determinada tiene significado solamente dentro de una clase definida de procesos, se establece con respecto a un cierto conjunto de condiciones y tiene un grado de aproximación bien acotado. En muchas ocasiones, la realización de la predicción establecida como consecuencia de las leyes y condiciones pertinentes, es un acontecimiento que va a ocurrir inexorablemente, debido a que se encuentra fuera de nuestro alcance hacer cualquiera modificación de las condiciones. Pero, en otros casos, sí resulta posible cambiar las condiciones y, por ende, hacer que también cambie el efecto correspondiente. Pues bien, cuando existe esa posibilidad de modificar las consecuencias previstas y se decide que así suceda, entonces es necesario alterar las condiciones presentes en forma conveniente, para producir el efecto deseado.

En el caso de las partículas elementales de la microfísica, se ha descubierto un límite para la predictibilidad de algunas de sus propiedades; y ese límite se encuentra determinado con precisión en las relaciones de incertidumbre de Heisenberg. Sin embargo, es oportuno advertir que esa imposibilidad de aproximar la predicción más allá del límite expresado por las relaciones de incertidumbre, se refiere solamente a unas cuantas propiedades de las partículas elementales, como son la posición espacial, la cantidad de movimiento, la energía y el tiempo. Por otra parte, dicha incertidumbre va disminuyendo con el incremento de la masa de las partículas. Com. consecuencia, las partículas pesadas como los bariones, los núcleos y los átomos, se encuentran menos afectadas por tal limitación; y el comportamiento de las moléculas y otros agregados mayores de partículas, es predictible con una incertidumbre muchísimo menor. En lo que respecta a los procesos de mayores dimensiones, cuyos acontecimientos dependen del comportamiento promedio de un gran número de partículas, su predicción se puede hacer con la precisión que se requiera. En todo caso, la predicción de los macroacontecimientos físicos es mucho más precisa que la predicción de los microacontecimientos. Además, la predicción de cualquiera acontecimiento físico, concierne primordialmente a las líneas generales de su desarrollo y a las principales etapas de su evolución.

Con respecto a las ciencias sociales, la situación es análoga, hasta cierto punto. Los microacontecimientos sociales no influyen individualmente en los macroacontecimientos de la sociedad, sino que solamente el promedio resultante de un gran número de microacontecimientos es el que ejerce una influencia importante. La predicción científica no se refiere a los acontecimientos sociales en su detalle minucioso, sino únicamente a las tendencias fundamentales, los lineamientos generales de su evolución histórica, sus resultados determinantes y sus consecuencias de mayor importancia. En rigor, entre la macrofísica y la microfísica se tiene una relación análoga a la que existe entre la macrohistoria y la microhistoria, o entre la macroeconomía y la microeconomía. Por otra parte, es indudable que el nivel alcanzado por el conocimiento de las ciencias naturales es muy superior al nivel logrado en las ciencias sociales. El conocimiento de las leyes de la naturaleza está apoyado en la realización de experiencias muy numerosas y que se han repetido desde mucho tiempo atrás, por lo cual los registros del comportamiento de los procesos ofrecen una precisión notable. En cambio, en las ciencias sociales sucede más bien lo contrario. Por supuesto, esa situación influye directa y decididamente en la cantidad de predicciones científicas que se pueden hacer, en los tipos de acontecimientos que son predecibles y en la precisión con que se establecen las predicciones. Por

eso, las predicciones que se hacen en las ciencias sociales son en corto número, se refieren a unos cuantos tipos de acontecimientos y resultan menos precisas. Sin embargo, desde el punto de vista lógico, las predicciones que se pueden formular en los dominios de las ciencias sociales, tienen el mismo carácter y pueden llegar a poseer igual grado de determinación que las predicciones hechas en las ciencias naturales, siempre que la profundidad, la amplitud y la precisión de los conocimientos que se tengan acerca de las leyes y las condiciones, sean equivalentes.

En el dominio de los procesos sociales, la acción colectiva de los hombres es capaz de cambiar de manera significativa las condiciones en que se efectúan, modificando así consecuentemente los acontecimientos ulteriores. El hombre puede alterar igualmente las condiciones en que se producen y se desarrollan los procesos naturales. Pero, los procesos naturales mismos no pueden cambiar deliberadamente sus propias condiciones. En todo caso, los cambios que se producen en esas condiciones son el resultado de las interacciones con otros procesos, sin que obedezcan a intención o voluntad algunas. Por consiguiente, la capacidad humana de poder cambiar las condiciones en que se realiza los procesos sociales, constituye una cualidad peculiar del dominio social, que no existe en la naturaleza. Esa capacidad humana es un factor poderoso que influye decididamente en el curso de los acontecimientos sociales. Además, cuando se presentan situaciones críticas, como son las revoluciones sociales, los hombres son capaces de transformar inclusive el régimen de la sociedad. En tales casos, junto con el régimen que es derrumbado, desaparecen también sus leyes específicas, para ser sustituidas por otras leyes sociales diferentes, que serán las correspondientes al nuevo régimen que se instituya. Tal cosa constituye igualmente otro factor nuevo, que interviene exclusivamente en el curso de los procesos sociales y sus acontecimientos respectivos; a diferencia de lo que sucede en la naturaleza, en donde las leyes correspondientes a los diversos niveles siempre coexisten y mantienen su cumplimiento inexorable, sin que puedan desaparecer jamás mediante la acción humana, ni tampoco por obra de alguna acción de cualquiera otro tipo de las que conocemos científicamente.

III. FUNCIONES

9. OBSERVACIÓN

El conocimiento objetivo de los cambios que ocurren en los procesos existentes, lo adquirimos a través de nuestras interacciones con dichos procesos. Cuando en una interacción tenemos una participación activa y ostensible, la denominamos *experiencia*. Mientras que, cuando nuestra participación es más bien pasiva y consiste, principalmente, en mirar y examinar atentamente lo que sucede, la llamamos *observación*. No obstante, como lo veremos más adelante, esa distinción es relativa y simple. Porque en cualquier experiencia también observamos y, por otra parte, resulta que nos es imposible observar realmente sin intervenir de alguna manera en lo que observamos. En todo caso, el conocimiento elemental proviene de la observación y siempre practicamos la observación al realizar una investigación científica. La observación es una actividad común a todos los hombres, quienes la practican cotidianamente de muchas maneras. Lo que es más, los procedimientos empleados en las observaciones científicas han sido desarrollados a partir de las maneras prácticas utilizadas en la vida ordinaria, especialmente en las artes y los oficios. Lo que distingue a la observación científica de su práctica común son, sencillamente las cosas observadas y los modos más precisos como se observan. La observación es, en ambos casos, el procedimiento que el hombre utiliza para obtener información objetiva acerca del comportamiento de los procesos existentes.

En un principio, la observación científica consistió solamente en registrar los movimientos y los cambios percibidos directamente por los sentidos, estableciendo así determinaciones simplemente cualitativas. De esa manera, fue posible formular predicciones que también fueron meramente cualitativas, a la vez que indefinidas con respecto al momento en que se realizarán. Luego, la observación se afinó, ampliándose y haciéndose más penetrante, permitiendo entonces advertir mayor número de relaciones y de aspectos en los procesos y determinándolos, al mismo tiempo, con mayor precisión. De esa manera, aun en el estricto nivel de la determinación cualitativa, fue posible distinguir, por ejemplo, que los vegetales mueren cuando les falta el agua, que la reproducción de los animales es sexuada y requiere del acoplamiento del macho con la hembra, que el arco iris está asociado siempre con la lluvia, que algunas plantas tienen propiedades curativas, que los astros tienen un movimiento de rotación alrededor de la estrella polar, que el régimen de lluvias se realiza en temporadas durante cada año, que la fuerza muscular puede ser acumulada en el arco y que esa misma fuerza de nuestros brazos se puede multiplicar por medio de una palanca.

La reiteración de las observaciones y el incremento de su exactitud, llevaron al discernimiento de las relaciones cuantitativas entre los procesos

y en su comportamiento. La determinación cuantitativa y los procedimientos de contar y de medir, cuya invención tuvo que hacerse para efectuarla, pusieron de manifiesto otras conexiones más profundas y ciertas ordenaciones simples entre los procesos. Una ordenación simple es una sucesión en donde cada elemento es el sucesor de otro y tiene, a su vez, un sucesor único; tal como sucede, por ejemplo, con el alfabeto y con la serie de los números naturales. Otro tipo de ordenación, también simple pero de carácter geométrico, es la disposición de las estrellas en una configuración espacial, como lo es la constelación de la Osa Mayor, en donde cada astro ocupa una posición definida con respecto a los otros. La operación de contar, como sabemos, consiste en ordenar una colección de objetos cualesquiera, haciéndolos corresponder biunívocamente con la serie de los números naturales. Por su parte, la operación de medir estriba en contar el número de veces que un patrón, seleccionado como unidad de medida, queda comprendido en la magnitud del objeto que se mide. Por supuesto, la unidad de medida tiene que ser ineludiblemente de la misma clase de lo que se mide. Así, la unidad de longitud es siempre una longitud, la unidad de masa es una masa, la unidad de carga eléctrica es una carga eléctrica, etcétera. Además, para incrementar la exactitud de las medidas, llegó un momento en que se impuso la necesidad de crear los números fraccionarios, como partes de la unidad de longitud. Dentro de la actividad científica, las determinaciones cuantitativas llevaron al conocimiento de que el Sol y la Luna se desplazan con un movimiento circular uniforme, aunque diferente para el uno y para la otra; que las estaciones del año tienen una sucesión cíclica regular y una duración definida; que la gestación de cada especie animal ocurre siempre en el mismo lapso; que los metales se funden con el calor; y que todo cuerpo sumergido en el agua, pierde una parte de su peso, que es igual al peso del volumen de agua que desaloja.

Más tarde, la acumulación paciente de observaciones y su mayor rigor, condujeron al refinamiento de las determinaciones cuantitativas. De ese modo se llegaron a predecir los eclipses lunares y solares; también se descubrieron los rudimentos de las oxidaciones, reducciones, destilaciones y amalgamaciones, en los ensayos para encontrar las maneras de beneficiar los metales y de fundirlos; en fin, como resultado del acopio de una enorme cantidad de observaciones astronómicas, se establecieron las leyes de Kepler sobre el movimiento de los planetas alrededor del Sol. Después, el desenvolvimiento de la observación cuantitativa llegó a un grado tan elevado de exactitud y de intensidad, que permitió la determinación de otro tipo de relaciones, como son las ordenaciones espaciales y temporales de los procesos, las cuales permitieron fijar con mayor precisión los movimientos y las interacciones existentes entre los procesos. Igualmente, llevó a la situación de poder advertir conexiones todavía más activas y definidas, como son las interacciones de causalidad. Con base en eso fue como Newton estableció, por ejemplo, las leyes del movimiento mecánico.

Más adelante, el refinamiento de las mediciones y el mejoramiento de los métodos de calcular, trajeron como consecuencia la posibilidad de determinar los modos de reproducir ciertas condiciones para provocar un resultado previsto. En ese momento quedó superada la observación, convirtiéndose en experimento. A partir de entonces, resultó insuficiente el simple registro de las manifestaciones espontáneas de la existencia, por preciso y copioso que pudiera ser, imponiéndose la necesidad de intervenir en el comportamiento de los procesos, para poder comprobar así las consecuencias previstas con apoyo en las observaciones o las experiencias

anteriores. De esa manera es como se formularon, por ejemplo, la leyes de la herencia de Mendel y como se determinó, también la existencia de los átomos.

Sin embargo, con la realización de experimentos no se detuvo el desarrollo de la observación, sino que ésta se ha seguido ensanchando como tal, al propio tiempo que se ha hecho más aguda. Por una parte, el experimento tiene como aspecto muy importante e imprescindible a la observación. Por otro lado, algunos experimentos nunca dejan de tener un carácter fundamentalmente observativo, aun cuando en ellos el refinamiento de la observación alcance un nivel extraordinario. Así sucede en la astronomía y en la astrofísica; y, en realidad, el primer experimento astronómico se realizó hasta el 4 de octubre de 1957, cuando se lanzó el primer satélite artificial de la Tierra. Y, rigurosamente, sigue sucediendo que en esas dos ciencias se trata de observaciones, en su abrumadora mayoría, y no propiamente de experimentos. De esa manera, la observación se continúa desenvolviendo en el curso de la investigación científica, aun después de que el experimento se ha desprendido de ella —pero, sin abandonarla—, como una nueva especie de experiencia y con un desarrollo propio y relativamente independiente. Además, por medio del experimento se consigue ampliar la percepción sensorial, penetrando así en muchos aspectos de los procesos que no se manifiestan aparentemente. De ese modo, la observación se amplifica y multiplica sus alcances.

Mientras observa, el investigador concentra su atención exclusivamente en el aspecto que le interesa y realiza una actividad intensa para percibir todos los cambios que se producen, ya sea directamente a través de sus sentidos —principalmente el de la vista— o valiéndose de instrumentos para aumentar su alcance y afinar sus percepciones. Al observar, el investigador se esmera en desempeñar un papel pasivo con respecto al proceso observado, cuidando que éste no sea perturbado por la acción de observarlo. Pero ese empeño solamente lo consigue de una manera relativa, ya que el investigador siempre necesita realizar algunas actividades para poder observar, o bien, tiene que poner en funcionamiento sus instrumentos de registro. Entonces, al hacer una u otra cosa, el investigador deja de ser ajeno al proceso que observa, puesto que dichas acciones —suyas o de sus instrumentos— provocan alguna interacción y, por consiguiente, introducen cierta perturbación en el desarrollo del proceso. En muchos casos, la observación únicamente afecta a los procesos de un modo leve; pero, en otras ocasiones, la perturbación es considerable y puede hasta imposibilitar la determinación que se persigue. Por ejemplo, cuando arrojamos un haz de luz sobre una roca para iluminarla y poderla observar así, la perturbación que causan los impactos de los fotones que componen la luz es insignificante. Pero, en cambio, los impactos que producen los fotones cuando lanzamos un haz de luz sobre una partícula elemental —cuyas masa y energía son del mismo orden de magnitud que las del fotón—, pueden producir una perturbación catastrófica y hacer imposible la determinación precisa y directa de ciertos aspectos del proceso.

En realidad, debido a la acción recíproca universal existente entre todos los procesos, es imposible efectuar observaciones sin que el investigador participe, de alguna manera, en el proceso y lo perturbe con su intervención. Por lo tanto no existen observaciones puras, ni tampoco es posible adoptar una actitud enteramente pasiva, de mera contemplación, para observar. Sin embargo, esa condición no afecta a la objetividad de los resultados registrados. Porque, por una parte, el investigador se las

ingenia para cuantificar la perturbación causada en los procesos —tanto por él mismo como por sus instrumentos—, valiéndose de las variaciones que puede introducir en las condiciones del experimento y en los medios utilizados para observar. De esa manera, puede corregir y ajustar racionalmente los resultados. Por otra parte, las perturbaciones que provoca en el proceso, permiten que el investigador conozca algunas de las maneras en que le es posible intervenir en dicho proceso y, por ende, dominarlo. Y semejante dominio sobre los procesos del universo conduce justamente al hombre a mejorar las condiciones de su existencia, lo cual constituye el objetivo primordial del conocimiento científico.

Una vez que el experimentador ha establecido las causas que condicionan un proceso y consigue efectivamente provocar su desencadenamiento, entonces procura asumir estrictamente el papel de observador, para poder seguir detenidamente su desenvolvimiento y registrarlo con toda objetividad. El investigador adquiere práctica en el reconocimiento y la discriminación de los procesos y sus relaciones, aprendiendo a distinguir de manera bien clara y distinta su comportamiento. Con ese adiestramiento. es capaz de registrar, de manera explícita e inequívoca, lo que observa. Entonces, el investigador registra minuciosamente y con fidelidad, al paso y medida en que se van produciendo, los cambios y variaciones que se producen al estar observando el desarrollo del proceso. En todo caso, la observación es selectiva y deliberada, ya que el investigador discrimina rigurosamente lo que va a observar y decide la manera de hacerlo. Por supuesto, la observación científica se encuentra apoyada en los conocimientos anteriores y, como cualquiera otra actividad humana, teórica o práctica se mejora con el incremento de la destreza.

El registro de cada observación se expresa por medio de una proposición protocolar. La proposición protocolar es una relación lógica entre los términos que representan lo observado. Se trata de una proposición singular que cumple indispensablemente con dos requisitos:

a) el de que su certeza, o su falsedad, se deban poder confirmar en un número finito de observaciones; y,
b) el de que debe ser invariante con respecto a los diferentes observadores.

Las proposiciones protocolares reflejan la existencia de algún proceso, una relación entre sus propiedades, un acontecimiento en su comportamiento o un estado de un sistema y, al mismo tiempo, lo caracterizan de un modo determinado. El conjunto de proposiciones protocolares correspondiente a una observación, constituye su protocolo respectivo. Pues bien, con base en un protocolo de la forma:

A_1 es B ,
A_2 es B ,
. . . . .
A_n es B ;

se establece una inferencia inductiva, cuya conclusión se expresa mediante una proposición universal indefinida:

Todos los A son B , o bien,
Si es A, entonces es B .

Como se sabe, en esas condiciones, la existencia de una sola proposición protocolar de la forma:

A_i no es B ,

es decir, la observación de una sola instancia contraria, es suficiente para invalidar una proposición universal indefinida, de la forma:

Todos los A son B .

En cambio, ninguna acumulación de proposiciones protocolares singulares, de la forma:

A_k es B ,

en donde: $k = 1, 2, 3, \ldots n$, es suficiente para cerrar la posibilidad de que se llegue a encontrar un caso adverso. Por supuesto, si el número de casos posibles es finito y, además se han podido examinar todos ellos, uno a uno, entonces la proposición:

Todos los A son B ,

es cierta, sin ningún asomo de duda. Pero, en tal caso, no se trata de una conclusión inducida propiamente, sino de una forma abreviada de expresar la suma de una serie de proposiciones como:

A_1 es B ,
A_2 es B ,
. . . . .
A_f es B ,

o sea, que se trata sencillamente de una proposición protocolar compleja.

Las condiciones que se deben cumplir para establecer una conclusión inductiva, partiendo de las observaciones expresadas como proposiciones protocolares, son las siguientes:

1) que entre las proposición protocolares no se encuentre ninguna de la forma: A no es B ; y,
2) que tampoco se hayan observado procesos de la clase A, que muestren una gran diversidad con respecto a la propiedad B.

En realidad, no es indispensable que la relación entre A y B sea invariante de una manera estricta, sino que es bastante con que dicha relación sea frecuente. Finalmente, conforme al procedimiento inductivo que se utilice, se podrá tener una conclusión exhaustiva, como en el enumeración completa; o bien, una conclusión que difiera de las proposiciones protocolares inductrices, como sucede en la coligación; o, también, una conclusión tipificada por inducción matemática o por recurrencia, según que el protocolo se encuentre ordenado o no; o, en fin, una conclusión amplificada, proveniente de un grupo reducido de proposiciones protocolares.

10. EXPERIMENTACIÓN

Cuando se supera la práctica de observar los procesos, tal como éstos se presentan naturalmente, y se interviene tanto en su producción como en su curso, se ha llegado al experimento. Entonces, los procesos son producidos artificialmente, esto es, provocando la presentación de las condiciones para que aquellos surjan o para que se modifique su comportamiento. De esa manera, el experimento implica la realización de una predicción y su cumplimiento, dentro de condiciones controladas. Además, las condiciones se pueden hacer variar dentro de ciertos márgenes relativamente amplios. En efecto, variando las condiciones es posible lograr que se repitan los procesos, que se retarde o que se acelere su curso, que se intensifique o que se atenúe su desarrollo o, en fin, que se produzcan otras muchas perturbaciones en su comportamiento. El control de las condiciones puede consistir simplemente en que el investigador sea capaz de hacer que se presenten y de conseguir que se mantengan durante el tiempo que dure el experimento. Pero, en otras ocasiones, el investigador logra ejercer un control tal, que gobierna completamente la intensidad de dichas condiciones, pudiendo entonces hacerlas variar a su voluntad, hasta el punto de conseguir anularlas o neutralizarlas, en caso necesario. A más de eso, el control puede ir más allá de las condiciones de producción y de mantenimiento del proceso, comprendiendo también las condiciones de observación y de medición de las observaciones. En la medida en que adquieran mayor importancia las perturbaciones introducidas por el investigador y sus instrumentos, mayor será igualmente la necesidad de controlar estrictamente las condiciones en que se observa y se mide. De esa manera, se tiene la posibilidad de observar con mayor claridad y distinción y, al mismo tiempo, de medir con más exactitud.

La observación es una parte importante y, sin duda, imprescindible del experimento. En cierto sentido, el experimento no es otra cosa que una observación provocada dentro de condiciones controladas por el investigador. Mientras el investigador observa, procura desempeñar un papel pasivo en la producción y el desenvolvimiento de los procesos; mientras que, como experimentador, el investigador participa activamente en los procesos. Pero esa distinción es relativa. Porque, tal como ya lo hemos señalado, el observador no permanece en una actitud contemplativa, sino que necesita realizar varias actividades para poder practicar sus operaciones y, luego, tiene que mirar y examinar atentamente lo que sucede. Y, por otra parte, el experimentador, después de que ha logrado hacer que se presenten las causas que condicionan al proceso, para que éste se desencadene, procura asumir rigurosamente el papel de observador, para poder registrar con plena objetividad el desenvolvimiento del proceso así suscitado. Otra diferencia notable entre el observador y el experimentador, estriba en que el primero utiliza funda-

mentalmente sus ojos para percibir, en tanto que el experimentador tiene que manejar literalmente los procesos y, por ende, utilizar hábilmente sus manos y las prolongaciones de éstas, que son los instrumentos. Por lo demás, el avance de las técnicas experimentales permite amplificar la percepción sensorial, a la vez que hace posible penetrar en otros aspectos de los procesos que no se manifiestan aparentemente. Un ejemplo ostensible de eso, lo tenemos en la invención del microscopio, que nos brinda imágenes agrandadas de objetos tan pequeños que no se alcanza a percibir a simple vista. Otro ejemplo lo tenemos en el telescopio, que nos da imágenes magnificadas de objetos tan distantes, que tampoco los podemos ver directamente con nuestros ojos o, al menos, no con detalle. En todo caso, en cada investigador se encuentran reunidos indisolublemente ambos papeles, el de observador y el de experimentador; y es justamente la conjugación íntima y armoniosa de esas dos actividades, la que constituye al investigador experimental.

El experimento es siempre un ensayo. Y, efectivamente, muchos de los primeros experimentos que se hacen en un dominio nuevo, son ensayos en gran escala. Solamente después, con el desarrollo de los procedimientos de medición y cuando se consigue tener un manejo más severo de las condiciones, es posible ejecutar experimentos que son ensayos en pequeña escala. El trabajar en pequeña escala tiene la ventaja de que se pueden ejecutar muchos más experimentos, a menor costo y con un control mejor de las condiciones en que se realizan. Además, la utilización de las matemáticas permite obtener resultados más valiosos de un gran número de experimentos —como los que se pueden ejecutar a pequeña escala—, que de unos cuantos ensayos, como los que se pueden ejecutar en gran escala. Todavía más, el cambio de la escala a la cual se efectúa un experimento, permite estudiarlo en partes, unas veces, facilitando así la observación en detalle. Y, otras veces, permite examinarlo como un todo indiviso, facilitando entonces la observación en conjunto, con mayor penetración. Por otro lado, el empleo de técnicas experimentales distintas a escalas diferentes, permite amplificar la percepción sensorial, a la vez que sirve para observar otros aspectos del comportamiento de los procesos, que no son aparentes.

La investigación científica tiene una secuencia que, abreviadamente, se puede expresar del modo siguiente: selección del problema, documentación y recolección de datos, formulación de hipótesis, experimentación, evaluación de los resultados, modificación de la hipótesis, vuelta a experimentar, evaluación de los nuevos resultados y, así, una y otra vez, hasta conseguir el cumplimiento del propósito perseguido, que es la solución del problema, o llegar al convencimiento de tener que abandonarlo, al menos temporalmente. Por su parte, la investigacióön experimental es una actividad cíclica que consta de varias fases, como son: la reflexión sobre la hipótesis, la predicción de sus consecuencias, la planeación del experimento para someterlas a prueba, el diseño del experimento, la ejecución del experimento planeado, la obtención de resultados, la confrontación entre esos resultados y las predicciones y, por último, la interpretación de las conclusiones. Se trata de una actividad cíclica, porque de las conclusiones se desprenden nuevas hipótesis, que dan lugar a la iniciación de un nuevo ciclo en la investigación; y, también, porque cada una de las fases indicadas puede suscitar indagaciones epicíclicas, en las cuales se repetirán algunas de las fases anteriores. La hipótesis puede ser sugerida por las conclusiones de otro experimento, o puede surgir en el curso de una reflexión racional, o bien, puede originarse en una conjetura. En todo caso, la investigación experimental tiene siempre como punto de partida una hipótesis.

El investigador emplea la hipótesis como un medio para interrogar al universo, solicitándole una respuesta definida y procurando las condiciones propicias para que se la entregue. Así, entre las varias consecuencias posibles de la hipótesis, el investigador fija su atención en aquellas que son exclusivas de esa hipótesis —y que, por lo tanto, no se desprenden de ninguna otra explicación posible— y, entre ellas, selecciona una a la cual considera que puede someter a prueba en un experimento. La planeación del experimento requiere la determinación previa de las condiciones en que se puede provocar el surgimiento o la presencia del proceso en cuestión, de los medios para mantener el control de esas condiciones y de los procedimientos para observar y medir el comportamiento del proceso. Por consiguiente, el experimentador tiene que reflexionar, ensayar, tantear y combinar de muchas maneras, para descubrir las condiciones que sean más apropiadas y que resulten factibles para la realización del objetivo que persigue. Con base en las determinaciones anteriores, el investigador procede a diseñar el experimento especificando los materiales, aparatos, instrumentos y dispositivos que se necesiten, el personal científico y técnico que intervendrá y en qué consistirá su participación concreta, así como las precauciones que deban tomarse para que el experimento funcione satisfactoriamente y no se corran aquellos riesgos que sea previsible evitar.

Durante la ejecución del experimento, el investigador tiene que asegurarse la permanencia de las condiciones predeterminadas, al mismo tiempo que su variación de la manera prevista. En ese sentido, el investigador mantiene su intervención en el comportamiento del proceso. Pero, una vez que logra suscitar la actuación de las condiciones que ha premeditado, entonces el investigador cambia radicalmente de actitud y concentra su atención en la obtención de resultados objetivos, preocupándose por examinar pormenorizadamente el desarrollo de los acontecimientos. El investigador se esmera, entonces, en atenerse a los resultados, haciendo abstracción completa de los que se podrían esperar de acuerdo con la hipótesis. Al propio tiempo, el investigador se ocupa de descubrir todos los errores que se puedan haber cometido —tanto por parte del propio investigador, como de sus instrumentos—, de conocer y evaluar las perturbaciones que hayan alterado el comportamiento del proceso y de registrar fidedignamente los acontecimientos que se produzcan efectivamente, independientemente de las predicciones que se hayan formulado al principio. Porque, de la misma manera en que es imposible efectuar el experimento si no es partiendo de ciertas predicciones establecidas conforme a una hipótesis, tampoco es posible obtener consecuencias experimentales objetivas, cuando no se dejan a un lado esas predicciones y no se hace caso omiso de la hipótesis misma, en el momento de registrar los resultados. En su papel de experimentador, el investigador formula una hipótesis, o la adopta, establece predicciones y encuentra cuales son las condiciones críticas para someterlas a prueba. En cambio, en su papel de observador y verificador,' el mismo investigador atiende exclusivamente al registro fiel y a la comprobación objetiva de los resultados.

Por supuesto, en general, es necesario realizar varias pruebas experimentales sucesivas, a través de las cuales se introducen los ajustes requeridos en la hipótesis inicial, antes de conseguir que las conexiones formuladas como posibles, representen realmente a los enlaces objetivos existentes entre los procesos explicados racionalmente por la hipótesis. Otras veces, es indispensable que el mismo experimento sea repetido por otros investigadores y que éstos lleguen prácticamente a los mismos resultados, antes

de que la verificación sea reconocida. Solamente en las ciencias más avanzadas, como la física que ya hemos puesto por ejemplo, llega a ser posible abreviar extraordinariamente la etapa de comprobación, cuando se pueden ejecutar experimentos sumamente precisos y en condiciones controladas al máximo; aunque siempre concurre, entoces, una gran confianza en la repetibilidad del experimento mismo.

Después que el investigador ha podido corregir racionalmente los resultados fehacientes, procede a confrontarlos con las predicciones que le sirvieron de punto de partida. Entonces es cuando se determina si la hipótesis ha quedado comprobada, si ha sido refutada, o bien, si ha quedado confirmada en parte y se impone la necesidad de modificarla en otra parte. Cuando una hipótesis queda verificada, se requiere examinar algunos de los conocimientos anteriores, para poner en claro su interpretación y ponerlos en concordancia con las consecuencias que trae aparejadas la nueva explicación. Al mismo tiempo, la nueva explicación comprobada —que era al comienzo una hipótesis— tiene que ser incorporada en el sistema de los conocimientos del dominio al que corresponda. Esa incorporación trae aparejado un ajuste en dos sentidos. Por una parte, se necesita poner en consonancia a los conocimientos anteriores que resultaron afectados por su vinculación con la nueva explicación. Por otro lado, se requiere probar que esa nueva explicación es también satisfactoria para todos aquellos conocimientos que se encuentran relacionados indirectamente con ella. De esa manera, muchas veces se ponen al descubierto ciertas modalidades y otros matices de la explicación recién comprobada en el experimento.

De una manera muy general, en la acividad científica podemos distinguir tres clases de investigación, que son: la fundamental, la aplicada y la tecnológica. Aunque es imposible separarlas por completo y bastante difícil diferenciarlas, cada una de esas clases tiene ciertos rasgos peculiares que podemos describir someramente. La investigación fundamental comprende las actividades de descubrimiento, de comprensión y de explicación de los procesos del universo, tanto naturales como sociales. La investigación aplicada se basa en los resultados de la investigación fundamental y persigue un propósito práctico bien determinado, que puede consistir en la satifacción de una necesidad concreta relacionada con la agricultura, la medicina, la higiene, la producción industrial o la presentación de algún servicio. La investigación tecnológica consiste en la adaptación sistemática de los resultados obtenidos en la investigación aplicada, conjugándolos con los conocimientos empíricos, con vistas a la producción y el empleo de nuevos materiales, aparatos, objetos de la más diversa índole, métodos o procesos en la industria, la agricultura, la medicina, etc., incluyendo el funcionamiento de máquinas prototípicas y de instalaciones pilotos. Las tres clases de investigación científica se encuentran interrelacionadas de muchas maneras, plantean incentivos imperiosos unas las otras y, constantemente, interfieren en el dominio de las otras clases. Lo que es más, en muchas ocasiones, una investigación que se inicia con un propósito estrictamente tecnológico, termina por convertirse en una investigación fundamental o en una investigación aplicada, y viceversa. De tal modo que no sólo es difícil distinguir la clase a la que pertenece una investigación concreta, sino que ésta puede sufrir transformaciones a lo largo de su realización. Por lo común, en las tres clases de investigación científica existe el aspecto teórico y el aspecto experimental. En lo que se refiere a su actividad experimental, el carácter primordial de la investigación fundamental es el cambio. En la experimentación aplicada, lo que más resalta es la varia-

ción delimitada, que puede incluir hasta la variación de los límites mismos. Y, en la experimentación tecnológica, la característica peculiar es el flujo uniforme de mediciones típicas, efectuadas en una serie de dispositivos que se van modificando sucesivamente y que se construyen a escalas crecientes.

Ya se trate de una investigación fundamental, de una aplicada o de una tecnológica, el experimento siempre está constituido por tres fases principales. La primera estriba en suscitar la presentación de las condiciones objetivas que se han premeditado, con arreglo a las predicciones basadas en las hipótesis. La segunda, en verificar los resultados producidos por el desenvolvimiento del proceso en esas condiciones, sin tomar en cuenta las predicciones en cuestión. Y, la tercera, consiste en comparar los resultados efectivamente obtenidos en la práctica del experimento, con las predicciones establecidas con arreglo a la hipótesis, para verificar rigurosamente hasta qué punto y de qué manera se han cumplido. En todos los casos, del mismo modo en que es imposible planear, diseñar y ejecutar el experimento si no se parte de una hipótesis, tampoco es posible obtener consecuencias objetivas cuando no se abandona esa hipótesis en el momento de registrar los resultados.

El experimento es la fuente del conocimiento científico. En el experimento se originan y a él conducen todos los desarrollos de la ciencia. Inclusive sus desenvolvimientos teóricos, parten directamente de los resultados experimentales y llevan reiteradamente al experimento, tanto para comprobar su validez como para encontrar su aplicación en otros conocimientos y en el dominio de la técnica. Para que un conocimiento sea considerado como válido, nunca es suficiente con haberlo obtenido, o demostrado, a través de inferencias correctas y que no se contrapongan, por numerosas, estrictas y amplias que éstas puedan ser. Además de eso, se requiere la comprobación directa e incontrastable en el experimento, de manera que la presencia de las condiciones supuestas produzca el resultado inferido. Luego, lo que se comprueba por medio de una sucesión de experimentos, se generaliza como determinación conjunta. De ese modo, se hacen variar los límites efectivamente experimentados, para extenderlos más allá hasta incluir en ellos a todos los procesos que manifiestan las mismas características. Esa ampliación se funda en la conservación de las condiciones reconocidas como críticas, en una sucesión de experimentos en los cuales se pueden llegar a modificar y, en ciertos casos, inclusive a suprimir por completo y hasta sustituir por otras, aquellas condiciones que no sean indispensables.

El experimento no es el objeto de sí mismo, sino que son los procesos de la naturaleza y de la sociedad, en su intrincada correlación y en su interacción universal, los que son experimentados. El experimento tampoco se agota en el plano inmediato, ni en el nivel de la experiencia directa de los procesos del universo, sino que se introduce en el seno mismo de esos procesos, con una penetración creciente y prácticamente ilimitada. Esa penetración del experimento se practica en todos los sentidos y pone al descubierto, a medida que avanza, una riqueza y una extensión mucho mayores que aquellas que permitían sospechar las determinaciones anteriores. De esa manera, el universo no solamente se muestra como inagotable, sino que también crece y se ensancha en cuanto a su determinabilidad, junto con el progreso de las indagaciones y a un ritmo superior al avance de éstas. En esas condiciones, no sólo se descubren y se traen a la superficie, por decirlo así, los procesos ocultos en las manifestaciones inmediatas, sino que, además, superando las limitaciones y las condiciones de su enfoque,

el experimento hace posible que se descubran y se determinen aspectos definidos del universo, que están tras de esos límites y en condiciones diferentes y que, al mismo tiempo, se encuentre el acceso y la vinculación hacia procesos de otras clases. Así es como, por ejemplo, el geólogo puede determinar, con una precisión admirable, el curso de procesos ocurridos muchos millones de años antes de la existencia del hombre, tomando como punto de partida y como material de comprobación a los datos que obtiene en sus experimentos actuales.

Los experimentos que sirven de prueba para una hipótesis, superan siempre ese propósito y exhiben en la existencia una riqueza muchísimo mayor que la prevista. Entonces se plantea la exigencia de formular otras hipótesis que sean explicaciones posibles de las nuevas propiedades advertidas en los procesos. Y esas hipótesis, que son consecuencias racionales de los resultados experimentales, conducirán a la ejecución de nuevos experimentos de prueba. De ese modo se destaca la acción recíproca existente entre el desarrollo racional y el experimento. La reflexión racional se desenvuelve partiendo del experimento y conduce al experimento. Por su parte, el experimento proviene de la reflexión racional y hace surgir la necesidad de ejecutar nuevos desarrollos racionales. Por lo tanto, el avance de la ciencia es una sucesión alternante, que se puede expresar así:

... racionalidad → experimento → racionalidad → experimento → ...

Sin embargo, en el caso de que surja alguna discrepancia incompatible entre una conclusión racional y un resultado experimental, se concede la primacía al experimento con respecto a la racionalidad, porque la realidad objetiva impone su dominio sobre la razón. Por otra parte, la experimentación es la forma más rigurosa de la actividad práctica del hombre sobre el universo, tanto natural como social. Al mismo tiempo, la actividad práctica es, en cierto sentido, una ampliación del experimento y también, la forma que el experimento adopta en la vida cotidiana.

En el experimento se realizan constantemente dos operaciones: el análisis y la síntesis. Mediante el *análisis*, el proceso es separado y estudiado en partes, en vez de observarlo como un todo indiviso. Luego, a través de la *síntesis*, se vuelve a integrar el proceso para observarlo con mayor penetración, después de haberlo conocido en detalle. El fundamento objetivo de esas dos operaciones se encuentra en las propiedades objetivas de la existencia. Cada uno de los procesos existentes está compuesto de elementos que, en un nivel más profundo, muestran su propia singularidad como procesos relativamente independientes. A la vez, cada proceso es también uno de los elementos componentes de otro proceso de mayor amplitud, que se comporta como un todo único en un nivel superior. Por ejemplo, cualquiera de los órganos de un toro, digamos uno de sus riñones, es un proceso por sí mismo, aunque su existencia sea interdependiente de los otros órganos del mismo animal. Pues bien, el riñón del toro está integrado por otros muchos procesos, que son sus células; y, al mismo tiempo, el riñón es una de las partes componentes del proceso mayor constituido por el organismo entero que es el toro. Entonces, cada proceso es una síntesis de sus elementos integrantes y, simultáneamente, participa en las diversas síntesis que se producen continuamente en el seno del proceso más amplio al cual pertenece. Todos los procesos existentes poseen esas características, con excepción de los procesos extremos, o sea, del universo mismo y de los corpúsculos elementales o *quarks*. El universo es un proceso y está constituido por multitud de procesos, pero no forma

parte de otro proceso mayor. Los corpúsculos elementales, por su parte, son procesos que integran a todos los demás procesos, pero ellos mismos no están constituidos por procesos más simples.

Análogamente, y en correspondencia con esas características de la existencia objetiva, en el ejercicio de la actividad científica se establecen continuamente síntesis de las determinaciones logradas mediante el desarrollo racional y los resultados experimentales. En la síntesis se reúnen diversos elementos conocidos primero por separado, conjugándolos en una unidad. Pero el resultado obtenido, la síntesis, no es una mera suma o agregación de los elementos integrantes. Por lo contrario, la síntesis es un complejo unitario que posee nuevas cualidades, las cuales no se manifiestan en sus componentes, porque solamente se producen en su conjugación y por su interpenetración. En ese sentido, las síntesis químicas, que tienen propiedades diferentes a las cualidades de las sustancias que entran en su combinación, nos ofrecen una buena ilustración acerca del carácter peculiar de la síntesis. Dentro de la actividad científica, cada concepto representa la síntesis formada por todos los conocimientos obtenidos acerca de un proceso o de una clase de procesos. Y en esa integración sintética del concepto se tiene una determinación unitaria y de conjunto, que supera las determinaciones parciales y fragmentarias de los distintos elementos y aspectos del proceso o procesos en cuestión. Igualmente, las hipótesis científicas se construyen como síntesis racionales de los resultados parciales e incompletos que se logran en los experimentos y en las reflexiones racionales. Por eso, la formulación de una hipótesis constituye la superación de los datos fragmentarios y de las determinaciones particulares anteriores, generalizándolos como una unidad en el plano de la posibilidad. Asimismo, las teorías científicas representan las síntesis de muchas determinaciones, combinando los resultados experimentales estructurados por las hipótesis y los nuevos experimentos que han servido para su verificación. Por ello, las teorías constituyen las síntesis superiores del conocimiento logrado.

Por otra parte, en las transformaciones de los diversos procesos, ocurren continuamente desintegraciones y separaciones de los elementos que se encuentran conjugados. Como consecuencia, dentro de la actividad científica se realizan también constantemente operaciones de análisis para desentrañar y determinar esa composición elemental de los procesos existentes. El análisis científico consiste en desmembrar las determinaciones establecidas o las síntesis encontradas, para poner al descubierto sus partes integrantes. Pero el análisis no se agota con la simple enumeración de las determinaciones elementales contenidas en el conjunto, ni se detiene tampoco en el mero desglosamiento de las cualidades ya conocidas. Por lo contrario, en sentido estricto, el análisis estriba en el descubrimiento y la determinación de las nuevas propiedades que se han producido y se manifiestan como resultado de la combinación sintética de diversos elementos. De esa manera, el análisis es una función metódica, porque representa una operación cognoscitiva que es relativamente inversa a la función de síntesis; pero que, al mismo tiempo, tiene el mismo sentido de avance que la síntesis, en cuanto a la profundización y la extensión que produce en el conocimiento. Por medio de la síntesis se practica una nueva determinación, reuniendo en una unidad las determinaciones elementales anteriores. En cambio, en el análisis se parte de una determinación compuesta, para volver a sus elementos constitutivos, pero determinándolos de un modo diferente y poniendo al descubierto en ellos propiedades antes des-

conocidas. Así, por ejemplo, cuando los alejandrinos agruparon el círculo, la elipse, la parábola y la hipérbola en el concepto unificador de la sección cónica (de los cortes que se pueden practicar en un cono), practicaron una síntesis. Esa nueva determinación, la sección cónica, tiene propiedades que no poseen las figuras particulares que integran su concepto en conjunto; como es, por ejemplo, la propiedad de constituir una invariante proyectiva. Por otra parte, el análisis posterior de las curvas cónicas llevó a establecer la determinación general de sus asíntotas, sus ejes, sus diámetros y sus áreas, partiendo de su concepto sintético.

Las operaciones metódicas de analizar y sintetizar, son representaciones metódicas de las acciones de separación y de reunión que practica el hombre, al intervenir en el curso de los procesos del universo. Igualmente, el análisis y la síntesis reproducen las transformaciones objetivas que ocurren por disgregación y por conjugación entre los procesos existentes y en sus distintas partes componentes. Por consiguiente, el avance del conocimiento sigue un desarrollo sucesivo y alternante de síntesis y análisis, a través de los cuales se van superando, extendiendo y profundizando las determinaciones. El conocimiento asocia los elementos dispersos para reconstruir su unidad y, a la vez, descompone analíticamente los elementos reunidos, para precisar sus conexiones y descubrir nuevas propiedades. Por ello es que en el conocimiento existe una vinculación indisoluble entre ambas operaciones: sin análisis no hay síntesis y, viceversa, sin una síntesis previa no es posible el análisis. Primero se analizan la manifestaciones inmediatas de la existencia, poniendo al descubierto sus aspectos y propiedades elementales. Luego, dichos elementos se sintetizan en la reconstrucción racional de la existencia, que se formula en la tentativa de explicación que es la hipótesis. Después, cuando la hipótesis queda comprobada, se analiza racionalmente para encontrar los elementos necesarios para practicar una síntesis superior. Y así prosigue continuamente su avance el conocimiento científico: de la síntesis racional al análisis experimental, de la síntesis realizada en el experimento al empleo de la razón analizadora, del análisis del experimento al desenvolvimiento sintetizador de la razón, del análisis racional a la ejecución práctica de la síntesis experimental. Por eso es que las propias leyes objetivas, descubiertas por la investigación científica como síntesis del conocimiento logrado, sirven después como instrumentos eficaces para analizar concretamente los nuevos descubrimientos realizados en la propia actividad de la ciencia.

11. RAZONAMIENTO

Razonar es establecer razones entre los conceptos y, por ende, determinar relaciones entre ellos. En consecuencia, cuando razonamos formamos juicios entre dos o más conceptos que, comúnmente, expresamos verbalmente como proposiciones. El razonamiento consiste propiamente en obtener proposiciones nuevas a partir de otras proposiciones ya establecidas, entre las cuales se insertan lo mismo conceptos acuñados con anterioridad, como conceptos nuevos en los que se expresan los resultados experimentales recientes. De esa manera, se tienen razonamientos entre conceptos propiamente determinados, razonamientos entre resultados experimentales y razonamientos entre conceptos ya determinados y resultados experimentales. En todo caso, la obtención de proposiciones nuevas se realiza a través de una serie de operaciones intermediarias, que son elementales, parciales y sucesivas, hasta llegar finalmente a discernir la nueva relación proposicional. Desde luego, en cualquier razonamiento se vinculan unas con otras las proposiciones que lo constituyen, aunque no se trate indispensablemente de una consecuencia rigurosa.

El razonamiento es una cierta manera de eslabonar proposiciones, mediante los conceptos relacionados en esas proposiciones. Con la particularidad de que los eslabones de un mismo razonamiento no siempre son los mismos de una razón a otra y de que. muchas veces, ni siquiera son homogéneos. Tal como ya lo hemos mostrado antes, por medio de abstracciones establecemos imágenes racionales de los objetos, procesos, propiedades y relaciones existentes. Después se van encontrando los vínculos entre esas imágenes y se tratan de probar, tanto las imágenes como sus relaciones, en dos sentidos: por medio de la razón y a través del experimento. En el primer caso, cuando nos valemos de la razón, obtenemos una demostración. En el segundo caso, cuando recurrimos al experimento, conseguimos una verificación. Como ejemplos notables tenemos, en el campo de la astronomía, el descubrimiento del planeta Urano por Herschel en 1781; la predicción de la existencia del planeta Neptuno por Leverrier, en 1846, que fue descubierto por Galle la misma noche en que recibió los datos detallados acerca de su posición; y la predicción del planeta Plutón, hecha por Lowell en 1914, que fue descubierto por Tombaugh en 1930. También tenemos como ilustración, en el dominio de la física de las partículas elementales, la anticipación de la existencia de los mesones, formulada en 1934 por Yukawa y verificada experimentalmente en 1937, que condujo a la producción artificial de mesones en 1948. Y, en el campo de la biología, podemos mencionar el descubrimiento de los bacteriófagos por d'Hérelle, hecho en Mérida en 1908-1909, al estar estudiando algunas anomalías no

habituales en un cultivo del germen responsable de una epizootia en las langostas.

En el funcionamiento del pensamiento científico se pueden distinguir claramente dos niveles: el del raciocinio y el de la razón. En el nivel de la razón se obtiene la comprensión teórica de la realidad. La razón implica la formación de conceptos e indaga acerca de su propia naturaleza. Por su parte, el raciocinio opera con los conceptos formados por la razón, ordenándolos, agrupándolos, vinculándolos y combinándolos conforme a ciertas reglas. Por medio de la razón somos capaces de percibir el contenido de los conceptos y reflexionamos sobre ellos, de acuerdo con ese contenido y con el de los otros conocimientos. Nuestra concepción racional del universo no es contemplativa, sino imaginativa y activa. La razón refleja a los procesos en las modalidades de su existencia y en su evolución; ya que no los considera solamente en su forma presente, sino también en las posibles formas de su desarrollo y bajo la influencia de la actividad práctica humana. Por su parte, el raciocinio también opera con abstracciones, pero sin investigar su contenido ni su naturaleza. En rigor, el raciocinio funciona dentro de los límites del esquema prescrito o de la pauta establecida por la razón. La actividad del pensamiento, en el nivel del raciocinio, únicamente cumple el propósito que tiene asignado y, por lo tanto, su reflejo de la realidad es, en cierto sentido, inerte. Las principales funciones del raciocinio son la desmembración de las partes separables, su manejo como elementos, su inserción en sistemas y la ejecución de las operaciones de cálculo que llevan a la formación de unidades compuestas. El raciocinio se caracteriza notablemente por el automatismo con que puede llegar a operar. Entre el raciocinio y el pensamiento razonante, se tiene una relación análoga a la que existe entre un acto determinado por los centros nerviosos de la médula espinal y un acto determinado por los centros cerebrales.

Un cálculo no es un razonamiento, sino un raciocinio. En efecto, el cálculo opera únicamente con los conceptos como enteros, sin analizarlos, reordenándolos, reagrupándolos y asociándolos de nuevo conforme a ciertas reglas estrictas y bien definidas. En el raciocinio del cálculo, las reglas son precisas y las operaciones se ejecutan dentro de los límites determinados y conforme a la pauta formulada justamente por medio de un razonamiento o de una serie de razonamientos. Lo que es de mayor importancia es que el raciocinio no se ocupa, propiamente, del contenido de los conceptos que maneja. El raciocinio hace un manejo indiviso y sin análisis de los conceptos, partiendo exclusivamente de sus relaciones en abstracto y obteniendo como resultado, por consiguiente, solamente relaciones abstractas entre los conceptos. En cambio, en el razonamiento, la aplicación de las reglas es holgada y las relaciones que maneja atañen a la variabilidad de los conceptos que figuran en las proposiciones. Con el avance del conocimiento científico, el hombre ha logrado determinar las condiciones teóricas para ejercer el control práctico del proceso mental del raciocinio. Y, una vez en posesión de ese conocimiento, el hombre ha conseguido impartir las funciones del raciocinio a los sistemas artificiales. En las computadoras o "cerebros electrónicos", el automatismo del raciocinio ha sido llevado a una madurez y a una forma clásica. La computadora tiene el mismo carácter fundamental de todo instrumento: es una prolongación, una precisión y una multiplicación de las acciones de nuestras manos y de la coordinación de nuestro cerebro; aunque siempre de manera muy bien determinada y, por ende, limitada. Actualmente, podemos distinguir tres niveles en el

raciocinio: el que corresponde a los animales superiores, el de los humanos y, el más reciente, desempeñado por los artefactos que son las computadoras. En el caso del artefacto, el raciocinio se presenta en su forma más llana, sin estar perturbado ni oscurecido por otros factores. En efecto, los rasgos más notables del raciocinio artificial son la abstracción completa, la impasibilidad, la precisión y la velocidad. En esos sentidos, la computadora supera al raciocinio humano en eficiencia. Sin embargo, la computadora depende del razonamiento humano y de otras actividades que también son realizadas por el hombre. En todo caso, la computadora es una invención humana, tiene que ser construida y reparada por el hombre, las operaciones que ejecuta han sido creadas por el hombre también, los programas que lleva al cabo son elaborados por cerebros humanos, los datos le son suministrados por el hombre y la interpretación de los resultados que obtiene tiene que ser hecha igualmente por el hombre.

El pensamiento racional es capaz de cambiar cualquier sistema establecido racionalmente, para reflejar a los procesos investigados de un modo más exacto y profundo. La imaginación racional crea nuevas ideas, que van más allá de los sistemas de conocimiento ya comprobados. Pero, al ir más allá de los límites de un sistema determinado, el pensamiento racional establece siempre los fundamentos para la formulación de un nuevo sistema. Así, por ejemplo, la geometría de Lobachevski fue más allá de los límites de la geometría euclidiana, pero, al mismo tiempo, construyó un sistema más general de geometría, que incluye a la geometría euclidiana como un caso particular. De manera análoga. Einstein superó con su teoría de la relatividad las fronteras de la física clásica; pero también, con base en sus ideas se formó un nuevo sistema teórico que tiene como caso particular a la física clásica. Por otra parte, la prueba de Cohen acerca de la independencia del axioma del continuo de Cantor, supera los límites de la teoría de los conjuntos y servirá para establecer las bases de un nuevo sistema más general para una matemática no-cantoriana. La reflexión del pensamiento racional no se opone a la sistematización racional, sino a la absolutización de cualquier sistema de conocimiento. La reflexión racional crea sistemas de tal manera que contienen los caminos para ir más allá de sus límites, hasta llegar al establecimiento de otro sistema nuevo. Las operaciones inventadas y ensayadas muchas veces por la reiteración racional, se convierten en operaciones de un cálculo o de un raciocinio, cuando alcanzan un grado definido de madurez. Por su parte, el raciocinio también acaba por producir resultados que se transforman en materiales primos para la reflexión racional. Lo que es necesario tener muy claro es que, cuando el raciocinio se encuentra desprovisto de la actividad racional, resulta ambiguo e incierto. Y que, a su vez, la reflexión racional, sin el concurso del raciocinio, acaba por conducir al dogmatismo.

La transformación del raciocinio en reflexión racional ocurre en varias formas, siendo la más típica aquella que consiste en señalar los límites de un determinado sistema de conocimiento, abriendo así la posibilidad de construir otro sistema. Por su parte, la reflexión racional se convierte en raciocinio a través de la formalización de un sistema de conocimiento. A su vez, la formalización lleva a crear algoritmos, que representan nuevas ideas o nuevos enfoques para abordar los problemas sucitados por el conocimiento de los procesos. En rigor, un algoritmo es un procedimiento para encontrar la solución de un problema, de tal manera que, al cabo de un número de operaciones previstas, determina efectivamente cuál es la solución o conduce inequívocamente a concluir que dicho problema no tiene solución. La

acción basada en un algoritmo comprende las operaciones de un cálculo determinado; pero la formulación del algoritmo mismo es el resultado de un proceso de reflexión racional que, muchas veces, es largo y difícil. En todo caso, la formulación del algoritmo no es un producto del cálculo. En particular, para comunicar a una computadora las funciones del pensamiento humano, se requiere haber transformado previamente los productos de la reflexión en una racionalidad calculable. Y una vez conseguida esa comunicación, es indispensable crear algoritmos, o sea, órdenes exactas y pulcras que establecen previamente los procesos de cálculo que va a realizar la computadora. En ese sentido, es como las computadoras son capaces de resolver problemas. De esa manera, con el desarrollo de la racionalidad calculable y la comunicación de sus funciones a las máquinas computadoras, no solamente se está aliviando al hombre de la pesada tarea de resolver problemas intrincados y muchos de ellos antes insolubles, simplemente por el tiempo que llevaría hacer los cálculos en forma manual; sino que, también, nos encontramos en el umbral de una liberación del pensamiento humano, que le permitirá reflexionar acerca de lo desconocido y lo inexplorado, dentro de una perspectiva de alcances insospechados y utilizando mucho mejor las posibilidades de su imaginación creadora.

Volviendo a los razonamientos, tenemos que una buena parte de ellos son discursivos, esto es, que vinculan las proposiciones de tal manera que llevan consecuentemente a una conclusión que, por supuesto, es otra proposición. Pero hay otros razonamientos que no son discursivos y en los que, por lo tanto, aun cuando puedan llevar inclusive a una conclusión, ésta no se encuentra implicada necesariamente por las otras proposiciones, de tal manera que los vínculos mostrados entre ellas no son enteramente consecuentes. Entonces, en los razonamientos que no son discursivos también se obtiene un resultado, solo que éste lo es en un sentido amplio, como puede ser algunas veces el resultado de una operación o de una serie de operaciones. El resultado de un razonamiento no discursivo, además de no ser completamente consecuente puede no ser unívoco y,por ende, es posible obtener más de un resultado. Por lo tanto, los varios resultados posibles que se pueden obtener de un razonamiento no discursivo, imponen la necesidad de interpretarlo.

Cualquier razonamiento requiere siempre de un cierto tiempo para realizarse, o sea, que su resultado no se produce súbitamente. De modo análogo, en el razonamiento también se requiere del espaciamiento necesario para que se vaya estableciendo la red de vínculos entre las proposiciones. Dicho de otra manera, en el razonamiento no se producen saltos, ni tampoco se realizan acciones instantáneas. Sin embargo, hay que distinguir claramente entre el tiempo que llevó la formulación de un razonamiento cuando se estableció originalmente, y el tiempo en que ese mismo razonamiento es repetido para utilizar su resultado en alguna acción, en otro razonamiento o, simplemente, para aprenderlo. En el primer caso se razona con cierta lentitud, mientras que en la repetición se procede con mayor rapidez. Es importante destacar que el razonamiento no tiene solamente la función teórica de extender y profundizar nuestros conocimientos, sino también tiene la función práctica de dirigir nuestras acciones. Aunque muchas veces nuestra conducta es impulsiva y, por ende, irreflexiva; otras veces nos es dictada por un razonamiento o por una serie de razonamientos.

El razonamiento es una concatenación de proposiciones, aunque no sea necesariamente consecuente. Sin embargo, una colección de propo-

siciones inconexas o una sucesión de proposiciones simplemente yuxtapuestas, no son razonamientos. En rigor, los razonamientos son operaciones o series de operaciones que se ejecutan. En general, los razonamientos tienen un carácter teórico, aunque su conclusión se pueda traducir, de manera inmediata o mediata, en una acción. Pero, también hay razonamientos de carácter práctico, en cuyo caso la conclusión no es una proposición, sino un acto que se ejecuta. En algunos razonamientos, todas las proposiciones que los constituyen son categóricas, es decir, que afirman o niegan de plano. Pero hay otros razonamientos en los cuales una o más de las proposiciones están afectadas por un matiz modal, o sea, que pueden ser posibles, imposibles, contingentes o necesarias. En los razonamientos jurídicos, esos matices modales se truecan en las siguientes equivalencias:

posible = lícito;
imposible = ilícito;
contingente = indiferente; y
necesario = obligatorio.

Otra manera en que se distinguen los razonamientos, consiste en clasificarlos en comunes y científicos. Un razonamiento común es el que produce resultados de sentido común, esto es, juicios de sentido común. Muchos razonamientos comunes no son otra cosa que la repetición de razonamientos que fueron formulados inicialmente como razonamientos científicos. Otros razonamientos comunes son la expresión de la sabiduría popular y sus conclusiones nos enseñan muchas cosas importantes, aun cuando no hayan sido extraídas con estricta consecuencia. Otros razonamientos más se refieren, en fin, a lugares comunes y, por consiguiente, son triviales y carentes de novedad. En todo caso, el razonamiento común es fragmentario, establece vínculos supuestos sin preocuparse por fundamentarlos y, generalmente, procede dando por sabidas tantas cosas que, muchas de sus conexiones quedan inexplicadas. El razonamiento científico, por el contrario, da muchas menos cosas por sabidas y alcanza un mayor grado de organización discursiva, procurando fundamentar lo que afirma o niega. El razonamiento común considera a cada problema como aislado y busca soluciones singulares. En cambio, el razonamiento científico toma en cuenta los vínculos del problema con otros problemas ya resueltos y busca soluciones generalizables. No obstante, el razonamiento no discursivo emplea muchas operaciones que tienen su análogo, pero refinado y preciso, en el razonamiento discursivo riguroso de carácter científico. Entre esas operaciones tenemos la asociación de ideas, mediante la cual se agrupan las proposiciones por ciertas afinidades, a pesar de que finalmente muchas de ellas puedan resultar enteramente equívocas. Otras operaciones primarias que utiliza igualmente el razonamiento común, son: la ordenación, la composición, la descomposición, la intercalación, la unión por semejanzas, la separación por diferencias, la reunión o vuelta a unir, la yuxtaposición, la clasificación, la acumulación, la coligación y la ponderación. Como ya lo indicamos, cada una de esas operaciones tiene su análoga en la actividad científica, aunque muchas veces se despliega en dos o más, como sucede, por ejemplo, con la yuxtaposición. Ya que, entre la simple operación de poner dos conceptos uno contiguo al otro, a la implicación necesaria y suficiente entre ellos, existe una variedad de vinculaciones posibles, que el razonamiento científico ensaya y tantea en cada caso.

Los razonamientos discursivos son los que eslabonan las proposiciones para mostrar la certeza, la posibilidad o la falsedad de la proposición a la que se llega como conclusión; o, al menos, para introducir dudas en uno u otro respecto. La inferencia es un razonamiento discursivo riguroso, mediante el cual la conclusión se desprende con necesidad lógica de las proposiciones antecedentes, su resultado se encuentra unívocamente determinado y todas las operaciones se ejecutan con la más estricta precisión. En otros casos, el razonamiento también puede ser discursivo, pero sin que se ejecute con pleno rigor, o sin que su necesidad lógica se pueda mostrar explícitamente y, entonces, se tratará de una argumentación. Una inferencia puede ser correcta o incorrecta; mientras que una argumentación puede ser fuerte o débil. Aparte de esa distinción entre los razonamientos que nos conducen a la certidumbre, la refutación o la determinación precisa de la contingencia de la conclusión, y aquellos otros razonamientos que solamente producen un resultado verosímil, también es posible distinguir entre los razonamientos que siguen el orden progresivo y directo de la síntesis y los que siguen el orden regresivo e inverso del análisis. Todavía otra manera de diferenciar los razonamientos, es la de considerar a los razonamientos deductivos como un encadenamiento formal riguroso de proposiciones, haciendo abstracción de su contenido; mientras que el razonamiento inductivo vendría a ser considerado como el paso de las proposiciones protocolares que representan directamente a los resultados experimentales, para llegar a la explicación general, sin hacer una justificación estricta de las maneras como son vinculadas las otras proposiciones; y, por otra parte, el razonamiento transductivo estribaría en la conservación de las relaciones, que son transferidas de unos términos a otros.

En la inferencia deductiva, se tiene un razonamiento mediante el cual se parte de uno o más juicios que expresan conocimientos ya adquiridos, o por lo menos postulados como hipótesis, para derivar otro juicio en el cual se expone un conocimiento menos general o, lo que es lo mismo, particularizado o implicado por los antecedentes. A los juicios que desempeñan el papel de condiciones se les denomina *premisas,* al resultado o juicio deducido se le llama *conclusión* y a la operación en conjunto se le conoce con el nombre de *deducción.* Algunas veces, lo que se obtiene primero son las premisas, esto es, las condiciones, ya sea como resultado de un experimento o como consecuencia de un desarrollo racional fundamentado y, entonces, se establece una conclusión, que luego es sometida a prueba para verificar su validez. En otros casos, se parte de una conclusión ya comprobada o formulada teóricamente con rigor, para inferir de ella las premisas que le corresponden y, más adelante, sujetarlas a la verificación experimental. La conclusión de una inferencia deductiva puede no ser única, ya que hay ocasiones en las cuales se obtienen como posibles varias conclusiones; y, todavía más, puede ser que dos o más de esas conclusiones sean simultáneamente válidas. Igualmente, es posible que las premisas también sean múltiples, de tal manera que a una misma conclusión le correspondan, con validez objetiva, distintas premisas o grupos de premisas. La inferencia deductiva es una operación analítica que sirve para descubrir las interconexiones de los conocimientos adquiridos y para formar hipótesis de trabajo. Una de las funciones más importantes de la inferencia deductiva es la que cumple en las demostraciones. El razonamiento demostrativo puede ser silogístico, cuando las premisas son necesarias. En otros casos, el razonamiento deductivo es postulativo, cuando sus premisas son aseveraciones generales, simplemente admitidas como supuestos. En fin,

el razonamiento demostrativo puede ser erístico, cuando las premisas, lejos de ser admitidas sin más, son motivo de controversia.

En la inferencia transductiva, la conclusión tiene un grado de generalidad o de particularidad equivalente al de las premisas. La novedad del conocimiento adquirido a través de una inferencia transductiva, consiste en transferir la relación establecida entre los términos que figuran en las premisas, formulándola como una relación entre los términos de la conclusión. Se trata de una forma de razonamiento que es utilizada frecuentemente entre los niños y, también, en la vida cotidiana de los adultos, aunque de una manera libre y sin rigor. El caso de la inferencia transductiva, la relación es la misma en las dos o más premisas en que se apoya y se repite en la conclusión: a diferencia de los otros tipos de inferencia, en los cuales puede haber relaciones diferentes entre los términos, en cada premisa y en la conclusión. En cualquier caso, la condición necesaria y suficiente para hacer posible y plausible un razonamiento transductivo, es que esa única relación formulada en las premisas y transferida a la conclusión, sea precisamente una relación gobernada por una ley de transitividad. Existen dos leyes de transitividad. La primera, de transitividad por transferencia, establece que, cuando una cosa es igual a otra, al mismo tiempo que esta otra es igual a una tercera cosa, entonces, la primera cosa es también igual a la tercera. La segunda ley, de transitividad por equiparación, establece que, cuando dos cosas son iguales a una tercera, respectivamente, entonces también son iguales entre sí. La relación de igualdad cumple con las dos leyes de transitividad. Por lo tanto, se pueden ejecutar inferencias con respecto a la igualdad, lo mismo que a otras relaciones análogas a ella, como la proporción, la equivalencia, la simultaneidad, la coincidencia y otra más. Por su parte, la relación de desigualdad solamente cumple con la primera ley de transitividad, por transferencia, pero no cumple con la segunda. Entonces, también se pueden hacer inferencias transductivas con respecto a la desigualdad y a otras relaciones que son análogas a ella, como la implicación, la anterioridad, la precedencia, la descendencia y otras más. Por último, igualmente forman parte de las inferencias transductivas los razonamientos por analogía. La inferencia por analogía permite transferir una determinada propiedad de un conjunto a otro conjunto diferente, con la condición de que esos dos conjuntos sean análogos. La analogía cumple con las dos leyes de transitividad, por transferencia y por equiparación. Y, como se sabe, dos conjuntos son análogos cuando se puede establecer una correspondencia biunívoca entre las relaciones de los elementos de un conjunto, con respecto a las relaciones de los elementos del otro conjunto.

La conclusión de un razonamiento inductivo es aquello que se infiere de la experiencia pasada, para predecir la experiencia futura. La inferencia inductiva se funda en el cumplimiento de ciertas relaciones que se han determinado en procesos ya verificados y, entonces, se aplican a nuevos casos no comprendidos en el conjunto ya experimentado. Eso quiere decir que la inferencia inductiva es la operación lógica que se utiliza para generalizar la experiencia. En la inferencia deductiva se tienen solamente tres alternativas posibles: la certeza, la falsedad o la imposibilidad de obtener una conclusión válida. En cambio, en la inferencia inductiva, esa última alternativa se transforma de imposibilidad en posibilidad y se desarrolla como tal, ofreciendo todos los grados de la probabilidad, la cual tiene como casos extremos a la falsedad y la certeza. En ese sentido, la inducción tiene mucho más amplitud que la deducción, ya que admite la posibilidad de efectuar un

número infinito de determinaciones, con una aproximación creciente. Por consiguiente, en cada inferencia inductiva se encuentra contenida explícitamente la susceptibilidad de modificarla y de extenderla. En todo caso, la inferencia inductiva consiste en el establecimiento de lo más general, a partir de lo menos general que ya se encuentra conocido. En esas condiciones, es fácil advertir que solamente se puede inducir cuando ya se han efectuado algunas inferencias deductivas y, recíprocamente, la posibilidad de deducir se apoya enteramente en las inferencias inductivas practicadas anteriormente. De esa manera, la inducción y la deducción son fases complementarias del método científico, que coexisten en cualquiera operación cognoscitiva que se efectúe. Para poder realizar una inferencia deductiva, es necesario partir, de manera directa o indirecta, de premisas establecidas inductivamente. Y, a su vez, para poder ejecutar una inferencia inductiva, es indispensable haber practicado primero un análisis deductivo, en el seno de la compleja interrelación en que se desenvuelven los procesos, con fundamento en el cual se lleva después al cabo la síntesis que se expresa en la conclusión inferida por inducción.

12. REGLAS METÓDICAS

El método científico expresa instrumentalmente el régimen de la actividad científica. Como instrumento empleado en la investigación para descubrir los procesos, sus propiedades y las relaciones entre éstas, el método conduce a la formulación de las teorías científicas, entre otras cosas. Pero, al mismo tiempo, el método es un conocimiento adquirido y, como tal, posee una estructura teórica. Dicha estructura se forma y se desenvuelve por un procedimiento semejante al que sirve para la construcción y el desarrollo de cualquiera teoría científica. Por consiguiente, la teoría del método científico, o metodología propiamente dicha, tiene la misma armazón lógica que se acusa en las otras disciplinas y, en su formación, rigen los mismos principios que se aplican tanto en las ciencias naturales como en las sociales. Entonces, los mismos principios específicos que sirven para la formación metódica de las teorías, son utilizados para desarrollar la metodología, como ciencia del método. Así la metodología estudia y trata de explicar las leyes del método, con vistas a la determinación del sistema que constituyen esas leyes, o sea, su teoría. Sin embargo, hasta ahora solamente se han logrado determinar algunas de las regulaciones que gobiernan la actividad metódica, sin que se pueda siquiera conjeturar que todas ellas sean, en sentido estricto, leyes que se cumplan indefectiblemente en la actividad científica.

Las regulaciones a que nos referimos han sido inferidas de la propia práctica de la actividad científica y, entonces, formuladas como reglas metódicas. De esa manera, las reglas metódicas son utilizadas en la producción del conocimiento científico, tanto teórico como experimental. En rigor, las reglas metódicas pueden ser consideradas como expresiones de las leyes generales del método científico; aunque su grado de aproximación a la regulación objetiva que representan, varíe de unos casos a otros. Además, en todo caso, las reglas metódicas consideradas en su conjunto como leyes, presentan varios puntos débiles. En primer lugar, se trata de proposiciones que siempre conservan su carácter de postulados, o sea, de supuestos, sin que adquieran nunca el rango de fundamentos. Lo cual significa que se trata de hipótesis generales que se toman en cuenta durante la realización de la investigación; pero que, al terminar dicha investigación no se transforman en fundamentos de la misma, puesto que entonces se advierte que han servido únicamente para ademarla y que, por lo tanto, no quedan integradas al resultado. No obstante lo cual, las reglas metódicas conservan su función de postulados para emprender nuevas investigaciones. Por otra parte, las reglas metódicas no se utilizan universalmente, en su conjunto, en todas las aplicaciones del método científico; de lo cual se puede colegir que algunas reglas son solamente expresiones parciales de

las leyes objetivas que gobiernan la actividad científica. En fin, por otro lado, las reglas metódicas conocidas no constituyen un sistema completo de leyes y, por ende, no se puede formular con base en ellas una teoría del método científico. Esa incompletividad de las reglas metódicas como sistema de la metodología, es un impedimento insalvable para la formalización del método científico.

A pesar de sus puntos débiles, las reglas metódicas son constructivas, como las otras leyes científicas. En consecuencia, representan restricciones en el comportamiento del investigador y en sus interacciones con los procesos que trata de conocer; pero, desde luego, no en el sentido de normar, compeler u obligar, sino en el de contraer y limitar posibilidades. Entonces, la posibilidad de realizar una investigación implica la observación de un conjunto de constricciones, que están expresadas en las reglas metódicas. Dichas reglas son principalmente guías para participar en la actividad de la investigación científica. Esas restricciones también sirven para evitar errores en la actuación del investigador. En todo caso, las reglas metódicas constituyen una especie de prototipo, que es una idealización de la actividad científica. Aun cuando, en la realidad, la actividad científica jamás se realiza exactamente de esa manera; y, por otra parte, en este caso, el prototipo idealizado muestra muchas fallas, insuficiencias y lagunas. Además, no hay que olvidar que la investigación científica es, en cierto modo, un arte y que, cuando las reglas de una actividad artística o artesanal se siguen rígidamente, entonces sirven más bien de estorbo, en vez de ayudar a la imaginación y la inteligencia.

El cumplimiento de las reglas metódicas es necesario y conveniente, pero nunca es suficiente. Cuando se aprende a seguir sus orientaciones, aplicándolas con tino en cada caso concreto, las reglas metódicas son de gran utilidad. Las reglas y el método entero son instrumentos y, por lo tanto, lo principal es saber servirse de ellos como de un instrumento, para manejarlo con destreza y acierto en el cumplimiento del propósito perseguido. La aplicación de las reglas metódicas aumenta la probabilidad de realizar una actividad fecunda de investigación. También facilitan el discernimiento de errores y ayudan a evitarlos, permiten concentrar la imaginación en los puntos más difíciles y alivian al pensamiento de algunos esfuerzos inútiles. Por eso es que las reglas metódicas sirven para intensificar y acelerar la actividad del investigador. Sin embargo, en ningún caso es posible que las reglas metódicas garanticen la obtención de frutos en la investigación, ni tampoco la calidad de sus resultados. Menos todavía se puede considerar a las reglas metódicas como una especie de panacea o como una colección de recetas que fueran la clave para conseguir frutos positivos en la investigación.

Desde luego, entre las condiciones indispensables para emprender una investigación científica, tenemos las siguientes:

a) La adquisición previa de conocimientos;
b) una actitud abierta y comprensiva hacia el problema planteado;
c) la disposición de considerar todas las posibilidades razonables y las alternativas factibles;
d) trabajar con esmero y precisión, utilizando todos los medios disponibles;
e) tener firmeza, para no dejarse arrastrar por ideas preconcebidas; y
f) aceptar de manera imparcial y honesta los resultados objetivos, aunque sean opuestos a los deseados.

Sobre la base del cumplimiento de las condiciones anteriores es que se aplican las reglas metódicas. Entre las reglas metódicas que han sido formuladas explícitamente, las principales son las que siguen: la regularidad, la continuidad, la repetibilidad, la causalidad, la conectividad, la pertinencia, la escala, la simplicidad, la parsimonia y la armonía.

Por *regularidad* se entiende la consideración de que el comportamiento de los procesos existentes se rige por leyes. En esa condición se apoya la posibilidad de extender los resultados observados en un pequeño número de casos experimentados, generalizándolos a todos los procesos de la misma clase. En efecto, la consideración de la regularidad del universo constituye el fundamento para poder descubrir, con una aproximación creciente, las leyes del comportamiento de cualquier clase de procesos, haciendo experimentos en uno de los intervalos finitos en que se manifiesta su desarrollo infinito. Así por ejemplo, después de que Galileo realizó sus experiencias acerca de la caída de los cuerpos, concluyó que en todos los casos en que había experimentado, dichos cuerpos caían o, lo que es equivalente, se deslizaban en un plano inclinado con una aceleración constante y, entonces, extendió esa conclusión a todos los cuerpos que caen libremente, es decir, bajo la sola influencia de la fuerza de atracción de la Tierra, independientemente de la magnitud de su masa. Si la conclusión se establece con rigor y objetividad, lo corriente es encontrar después la confirmación experimental de la relación entre los acontecimientos, cuando se amplía el número de datos con la realización de nuevas observaciones. Lo que es más, en muchos casos, la validez de la relación se incrementa con el aumento en el número de experimentos y con la exactitud de las mediciones. Por otra parte, cuando se llega a obtener un resultado en el cual no se cumple alguna determinación ya establecida y verificada experimentalmente, no por eso se infiere que constituya una violación a la regularidad en el comportamiento de los procesos en cuestión; sino que, más bien, se considera como una indicación de la necesidad de modificar la explicación primitiva, formulando otra nueva que comprenda también a los resultados experimentales nuevos. En todo caso, la regularidad es una condición indispensable, tanto para conocer como para predecir.

En la *continuidad* se expresa imposibilidad de efectuar una división radical dentro del continuo uniforme que es el universo. Desde luego, el universo es, por sí mismo y en su integridad, el continuo universal. A la vez, todas y cada una de las partes del universo son otros tantos continuos que, a su vez, se encuentran en mutua relación de continuidad. Por eso, como lo expresó Leibniz: "la ley que rige el reposo de los cuerpos es, por decirlo así, solamente un caso particular de la ley general del movimiento; la ley de la igualdad, un caso específico de la ley de la desigualdad; y la ley de lo rectilíneo, una subespecie de la ley de lo curvilíneo". De ese modo, cuando Galileo llegó a establecer la ley de la caída de los cuerpos, a la cual nos referimos antes, en realidad determinó también la ley del movimiento inercial, como caso límite del movimiento de caída. Aun cuando haya sido Newton quien formuló explícitamente esa relación de continuidad, expresándola en la primera ley del movimiento. Con base en la consideración de la continuidad, se hace posible la introducción de hipótesis nuevas y la transformación de las ya establecidas, cuando así lo exige la explicación de los resultados experimentales. Al mismo tiempo, la continuidad permite la conexión entre las diversas teorías, como partes del continuo indisoluble del conocimiento que, a su vez, refleja al continuo inseparable del universo. Por eso, el desarrollo histórico de las teorías expresa

la continuidad de los procesos existentes y, al propio tiempo, permite su conexión sistemática y pone al descubierto las analogías existentes entre todas ellas. En particular, después de haber logrado una explicación para un caso específico, con apoyo en la continuidad se pueden ir modificando gradualmente, en la imaginación, las condiciones de ese caso, tratando de mantenerse apegados a la explicación inicial tanto como sea posible, hasta llegar a encontrar la explicación general. Igualmente, para someter a prueba una interpretación general adoptada tentivamente, es práctica común, tanto en la física como en las matemáticas, la de examinar los casos límites y especiales, para los cuales los resultados son decisivos, con tal que se mantenga la continuidad.

La *repetibilidad* establece una diferencia radical entre la experiencia científica y cualquiera otro tipo de experiencia. En términos generales, las experiencias cotidianas son singulares o, cuando mucho, son semejantes; mientras que las experiencias científicas pueden hacerse iguales y aproximarse mucho a la identidad. En el límite, la única diferencia entre dos experiencias científicas "idénticas" viene a ser que ocurrieron en instantes distintos. Entonces, una experiencia científica siempre se puede repetir en las mismas condiciones. Análogamente, cualquier experimento es repetible. En efecto, mediante la repetición de los experimentos es como se comprueba la objetividad de sus resultados y se asegura la posibilidad de que el conocimiento siga avanzando sobre un apoyo firme, que ya no se puede deteriorar después. De cada proceso que se descubre, se postula de inmediato que se trata de un espécimen de una clase de procesos y, efectivamente, siempre se encuentran después muchos otros especímenes de la misma clase. En ese sentido, cada proceso es repetible. Al mismo tiempo, cualquiera de los acontecimientos que le ocurren a un determinado proceso es también repetible, tanto en ese mismo proceso como en cualquiera otro espécimen de la misma clase. Por lo tanto, todo acontecimiento es igualmente repetible, con tal que se repitan también las condiciones, puesto que las leyes subsisten, se cumplen sin excepción y producen los mismos efectos a partir de iguales condiciones. La predicción, desde la más elemental —consistente en predecir que un proceso se presentará en tales o cuales condiciones, o en que sucederá un cierto acontecimiento en dichos procesos— hasta la más compleja, se encuentra fundada en la repetibilidad. En cuanto al experimiento, sería imposible imaginarlo siquiera, sin considerar que los procesos y los acontecimientos que se producen en su comportamiento, son repetibles. Para garantizar la repetibilidad de un experimento, es imprescindible que todo lo que se haya ejecutado quede mostrado de manera precisa y completa. Así se comunica a los otros investigadores el procedimiento seguido, para que ellos puedan volver a encontrar por su propia cuenta los mismos resultados, repitiendo los pasos del investigador original. Un experimento en el cual no se muestre con exactitud la manera de repetirlo, o una conclusión que no vaya acompañada de los elementos necesarios para reiterarla, carecen de valor científico.

Por *causalidad* se entiende la expresión particularizada de la conexión y las interacciones existentes entre todos y cada uno de los procesos del universo. Cada proceso se encuentra conectado con los otros de muchas maneras y, a través de sus múltiples interacciones, influye en los movimientos y transformaciones de esos otros procesos, a la vez que recibe la influencia de ellos. Esa acción recíproca es una causalidad multívoca entre los procesos, que se condicionan mutuamente. La causalidad unívoca, o simplemente causalidad, es una manifestación de la acción recíproca universal, que

permite explicar sus relaciones, simplificándolas abstractamente. La causalidad representa, entonces, una serie parcial de las vinculaciones activas más destacadas en un grupo de procesos, cuando dicho grupo se puede considerar separado relativamente con respecto al resto de los procesos del universo. En cambio, cuando se consideran todas las conexiones dentro de su articulación activa, entonces las causas y los efectos se convierten mutuamente unos en otros. La causalidad se puede expresar en la forma de una implicación recíproca entre dos conjuntos de procesos *A* y *B*, vinculados de tal modo que la producción de un proceso de *A*, trae aparejada la producción de un proceso de *B*, y viceversa. En esa mutua implicación, tanto *A* como *B* representan conjuntos que pueden ser incluyentes o excluyentes entre sí. La implicación causal es simétrica en cuanto a la conexión funcional, o sea, que los procesos de *A* son determinantes de los procesos de *B*, al mismo tiempo que son determinados por ellos; y lo mismo sucede con los procesos de *B* con respecto a los de *A*. En cambio, en lo que se refiere a la intensidad de la determinación, la implicación causal es generalmente asimétrica, esto es, que los procesos de *A* pueden determinar a los de *B* en un grado mayor que éstos a los procesos de *A*, o viceversa.

En todo caso, solamente se destacan como causales, aquellas acciones que producen consecuencias considerables. Se denomina *causa* al conjunto que ejerce mayor influencia sobre el otro; y *efecto* al conjunto que recibe esa influencia mayor. Por lo demás, el efecto de una causa puede ser, al mismo tiempo, causa de otro efecto, estableciéndose así lo que se llama una cadena causal. Las cadenas causales son transitivas por transferencia, de tal manera que, si *R* es causa de *S*, en tanto que *S*, a su vez, es causa de *T*, entonces *R* es causa de *T*. En este punto es conveniente hacer hincapié en que las cadenas causales no son transitivas por equiparación; de tal modo que, si *K* es causa de *L*, a la vez que *M* es causa de *L*, eso no permite inferir que *K* sea causa de *M*, ni tampoco que *M* sea causa de *K*. La manifestación de la acción causal es histórica, es decir, que siempre transcurre cierto intervalo de tiempo entre la presentación de una causa y la perturbación producida en el efecto. Así, a través de las relaciones causales se pone al descubrimiento el orden de los procesos existentes. El tiempo es el orden de las concatenaciones de causalidad. La causa es anterior, esto es, antecede; mientras que el efecto es posterior, o sea, que procede de la causa. La repetición de una causa provoca la repetición del efecto. De manera análoga, la intensificación (o la atenuación) de la causa, produce generalmente la intensificación (o la atenuación) del efecto y, en todo caso, su variación. El conocimiento de las relaciones causales y de la posibilidad de su repetición en condiciones definidas, permite al hombre intervenir efizmente en el curso de los procesos. Mediante la conexión causal es como se pueden reproducir los experimentos. En la relación de causalidad se fundan las anticipaciones racionales y los desarrollos teóricos de la ciencia. En fin, lo que es todavía más importante, la causalidad se encuentra implicada necesariamente en cualquiera explicación científica y, por ende, en cualquiera hipótesis (que es un proyecto de explicación científica). De un modo muy particular, el experimento consiste en la verificación sucesiva de los efectos causados por las condiciones establecidas y producidas con arreglo a un plan.

La *conectividad* significa que cuando dos procesos son distintos, siempre difieren en más de una propiedad. Por lo tanto, las desemejanzas de su comportamiento nunca ocurren aisladamente, sino que se encuentran asociadas con otras diferencias. Entonces se considera que en la historia del desenvolvimiento de dichos procesos, existe la diferencia de algún aconte-

cimiento, al menos, que ha ocurrido en uno de ellos, pero no ha sucedido en el otro. Por consiguiente, con apoyo en la conectividad, se va más allá de la explicación causal acerca de la desemejanza entre los procesos, buscando otro aspecto, además del aparente, en el cual difieren. En rigor, la conectividad representa la necesidad de profundizar constantemente las explicaciones establecidas. Igualmente significa que, cando dos procesos tienen propiedades diferentes, o tienen la misma propiedad en intensidades diferentes, entonces tal diferencia se pondrá de manifiesto en más de una manera. En cierto sentido, la conectividad es lo opuesto a la identidad. Dos procesos solamente pueden ser idénticos o diferentes. Si son idénticos, entonces son indiscernibles. Mientras que, si son diferentes, entonces lo son en más de un respecto. Como se puede advertir, la conectividad facilita la predicación. La consideración de que las diferencias entre dos procesos siempre están asociadas con otras diferencias, incluye la consideración de que cada uno de dichos procesos posee más propiedades de las que tenemos determinadas. En fin, la conectividad constituye un estímulo poderoso para proseguir la indagación de las propiedades de un proceso. Y, como puede verse en la historia de la ciencia, mientras una diferencia se conoce aisladamente, resulta anómala; en tanto que, cuando se descubren otras diferencias asociadas con aquélla, entonces, además de que se cumple la conectividad, la primera diferencia puede quedar explicada y, por ende, puede resultar comprensible.

La *pertinencia* se refiere a la selección que se hace de los factores que intervienen en la producción y el desarrollo de un proceso. En realidad, el número de factores que intervienen en cada proceso es inmenso y, en su gran mayoría, ni siquiera son conocidos. Además, entre los factores conocidos, algunos intervienen fuertemente, mientras que otros lo hacen débilmente. Asimismo, sucede que ciertos factores se contraponen unos a los otros, llegando inclusive a anular su influencia. Por consiguiente, entre los factores conocidos, es indispensable seleccionar únicamente, para tomarlos en cuenta, aquellos factores que ejercen una influencia decisiva en el proceso estudiado. Es más, hay algunos factores que actúan poderosamente, solo que su influencia es invariante y, entonces, para muchos respectos, su constancia viene a obrar de manera análoga a su ausencia. De acuerdo con la experiencia adquirida en las investigaciones anteriores, se sabe que el número de factores decisivos es reducido. Por lo tanto, dichos factores son los importantes y los únicos que resultan pertinentes para la explicación científica. En cierto sentido, el refinamiento del criterio certero para seleccionar los factores pertinentes, va aparejado con el avance y el nivel alcanzado por la disciplina científica en cuestión. En genera,l es necesario poseer una cantidad considerable de conocimientos y tener un adiestramiento previo, para poder discernir como factor significativo, lo que a otros puede parecer simplemente un detalle en una situación complicada o hasta un factor fortuito. Además, deben ocurrir circunstancias especiales para que se observe o se destaque ese factor que es pertinente. Un buen ejemplo de esa selección lo tenemos en la física, tal como se ilustra concretamente en la segunda ley del movimiento de Newton, la cual expresa que la fuerza es igual al producto de la masa por la aceleración, o sea: $F = ma$. Más todavía, como es sabido, entre la multitud de factores que intervienen en la comportamiento de los diversos procesos de la mecánica clásica, es suficiente con la consideración de los factores que figuran en las tres leyes del movimiento y en la ley de la gravitación universal, los cuales resultan ser

los únicos pertinentes en ese campo, para poder explicar y predecir cualquier acontecimiento. De manera correspondiente, el escaso desarrollo de una disciplina se refleja en la gran cantidad de factores que tienen que considerarse para tratar de explicar un acontecimiento, tal como sucede en algunas ciencias sociales.

La *escala* de un proceso se refiere tanto a su orden de magnitud como al nivel de su existencia. Como ya lo expusimos anteriormente, hay un nivel de la física clásica, constituido por los procesos de dimensiones semejantes a las humanas y que, por eso, los tenemos al alcance de la mano o de nuestros sentidos, desde el comienzo de la ciencia. Pero, también hay otros niveles de la existencia que, como ya lo dijimos, son estudiadios, respectivamente, por la física relativista, la termodinámica, la química, la física atómica, la física nuclear, la física de las llamadas partículas elementales y la física de los *quarks,* que forman la estructura interna de esas partículas. Además, tenemos otros dos niveles de la existencia, fuera del estudio de la física, como son el biológico y el social. Entonces, en cualquier experimento que se realice, es indispensable actuar de acuerdo con el nivel de la existencia que corresponda. Por otra parte, en cada experimento, la escala en que se trabaja queda determinada por los instrumentos utilizados. En rigor, trabajamos siempre experimentalmente dentro de la escala definida por el alcance de nuestras manos y de nuestros sentidos, o sea, a la escala de las dimensiones humanas. Solo que, al mismo tiempo, nos valemos de instrumentos que penetran en otros niveles de la existencia y que, por lo tanto, nos permiten ampliar o reducir la escala. Sin embargo, dichos instrumentos están construidos de tal manera que nos informan, a la escala de las dimensiones humanas, acerca de lo que sucede en el nivel al cual penetran. En cada caso, es necesario fijar precisamente la escala en que se efectuará el experimento, para seleccionar en consecuencia los instrumentos adecuados. De esa manera, en la planeación de un experimento se prescinde de los instrumentos que resulten demasiado toscos y, también de los que sean excesivamente finos para el caso; porque la información que suministrarían no correspondería a las interacciones que se producen en el nivel de la existencia que se está investigando. En cambio, se procura emplear aquellos instrumentos que puedan darnos una información suficientemente precisa, pero que no sea excesiva ni tampoco escasa, con respecto a la escala estudiada. Otra cuestión muy importante, en relación con la escala, está vinculada con el principio de similitud o de similaridad dinámica, descubierto por Galileo. Con frecuencia ocurre que, entre las fuerzas que actúan en un sistema, algunas de ellas varían de acuerdo con la elevación a una cierta potencia de las masas, distancias y otras magnitudes implicadas; pero, en cambio, hay otras que varían conforme a una potencia diferente. Entonces, en las ecuaciones de equilibrio, las dimensiones siguen siendo proporcionales, mientras que los valores relativos se alteran con el cambio en la escala. Así por ejemplo, la resistencia de una viga varía con su sección transversal, o sea, de acuerdo con el cuadrado de la dimensión lineal; pero, en cambio, el peso de la viga entera varía con el cubo de la dimensión lineal. Por consiguiente, si se construyeran dos puentes geométricamente semejantes, a distintas escalas, entonces el puente de mayores dimensiones sería más débil que el de menores dimensiones. Además, cualquiera estructura hecha de un material determinado, tiene un límite en sus dimensiones, que es el de la resistencia a su propio peso. En esas condiciones, para que una máquina alcance la mayor eficiencia, ha de tener determinadas dimensiones. Y,

cuando se aumenta o se disminuye una dimensión, no es suficiente con hacer que las otras dimensiones resulten ser geométricamente semejantes y, por ende, proporcionales a ella, sino que la máquina tiene que ser diseñada de nuevo para obtener la misma eficiencia. Como puede advertirse, la anterior es de importancia fundamental en la investigación tecnológica. Por otra parte, la ley de similitud de Galileo, tiene que tomarse en cuenta, indispensablemente, para la realización satisfactoria de experimentos con modelos construidos a escala. También tiene muchas aplicaciones en la biología, en relación con las tallas de los organismos y las dimensiones de sus diversos órganos.

Por *simplicidad* se entiende el adoptar la explicación más simple, entre todas las posibles que representen efectivamente a los resultados experimentales y en tanto que dicha explicación siga representando a los resultados posteriores. Por esa razón es que los valores cuantitativos encontrados experimentalmente en el desarrollo de un proceso, se ligan por medio de la función matemática más simple. Además, al quedar formulada matemáticamente esa conexión, es posible efectuar interpolaciones y extrapolaciones para determinar otros valores no hallados experimentalmente. Por otra parte, al sujetarse a la verificación experimental esa formulación matemática, es posible que se lleguen a observar ciertas divergencias con la función establecida; pero, siempre que su cuantía no sea mayor y mientras no se pruebe objetivamente lo contrario, tales divergencias son consideradas como desaciertos casuales. Ahora bien, si la explicación se ha establecido con rigor y objetividad, lo corriente es encontrar su confirmación experimental, cuando se amplía el número de datos con la realización de nuevas observaciones. Más todavía, en muchos casos, la validez de la explicación se incrementa con el aumento en el número de experimentos y en la exactitud de las mediciones. Tal como ha ocurrido por ejemplo, en el caso de la geometría euclidiana, ya que las mediciones geodésicas y astronómicas de precisión han demostrado que su validez es mayor que la resultante de las experiencias que condujeron a su formulación. En la física existe una multitud de cosas análogos. Con todo, la simplicidad de la explicación, incluyendo su expresión matemática, no entraña sin embargo la consideración de la simplicidad como una característica intrínseca de las formas de comportamiento de los procesos de la naturaleza o de la sociedad, ni tiene nada que ver tampoco con la llamada "economía del pensamiento". En rigor, todos los procesos existentes son bastante complejos. De tal manera que la simplicidad de la ciencia estriba solamente en la simplificación racional de lo complejo, siempre que sea posible hacerlo sin sacrificar en nada la objetividad.

La *parsimonia* se refiere, en primer lugar a la condición de que los postulados iniciales —cuya introducción es inevitable cuando se expresan los conocimientos teóricos en forma de teoremas y los experimentales en forma de empiremas— sean en el número más reducido posible. Por otra parte, también se refiere la parsimonia a la necesidad de que no se multipliquen las hipótesis en caso alguno. Por lo tanto, es prudente no introducir una hipótesis para cada resultado experimental o para cada conclusión racional, ni tampoco utilizar hipótesis exclusivas para un solo resultado o una conclusión. Porque, como la función de la teoría consiste en permitir el establecimiento de las implicaciones a las cuales conduce un conjunto de hipótesis, entonces, cuando se van agregando otras hipótesis al ejecutar las inferencias, viene a ser imposible extrapolar la teoría en sentido alguno, ni se pueden practicar tampoco interpolaciones estrictas. Por otra parte, las

teorías que contienen hipótesis exclusivas resultan ser enteramente inservibles, ya que con ellas se tiene abierta la posibilidad de seguir introduciendo otras hipótesis correctivas, hasta llegar al extremo de disponer de una hipótesis distinta para cada resultado; lo cual es tanto como no haber logrado dar explicación alguna. A la vez. las teorías que contienen hipótesis exclusivas no admiten, en rigor, que de ellas se puedan extraer consecuencias. Entonces, lo que tiene que hacerse es mantener una reserva premeditada para no formular hipótesis especulativas, inútiles o en exceso; sino solamente aquéllas que conduzcan a conclusiones demostrables o verificables. En cambio, cuando los resultados experimentales impongan objetivamente la necesidad de modificar una explicación, de extenderla o de cambiarla, el investigador tiene que saber reconocerlo y tratar de formular entonces, pero únicamente entonces, una nueva hipótesis.

La *armonía* del universo y la búsqueda de su representación congruente en las teorías científicas, es uno de los motivos poderosos que nos inducen a la actividad investigadora y, particularmente, a la creación, la invención y el descubrimiento. La armonía y la belleza de una teoría son condiciones necesarias, aunque insuficientes, para que resulte válida objetivamente. Las investigaciones científicas están orientadas por la belleza del contenido del conocimiento y por la armonía de su forma. En la matemática se reconoce explícitamente a la belleza como un elemento de la actividad del investigador y de los resultados que obtiene. Así, la elegancia matemática es la forma bella de expresión y de ejecución de las operaciones. Un método es elegante y, por lo tanto, bello y armonioso, cuando permite obtener efectos potentes, con medios sobrios. En aquellos casos en que ya se tiene la demostración de un teorema y se encuentra otra nueva, entonces esa nueva demostración se considera mejor si es más elegante. En las otras ciencias no se hace con frecuencia semejante reconocimiento explícito de la elegancia,pero siempre se prefiere la hipótesis que es más bella y armoniosa, entre las otras explicaciones posibles que sean equiparables, en cuanto a que cumplan con las exigencias del conocimiento científico. La belleza se despliega en todas las disciplinas científicas y su logro constituye un incentivo importante para el investigador y un indicio fuerte en la obtención de un buen fruto. Un caso particular de la armonía lo representa la simetría, la cual viene adquiriendo cada vez mayor importancia en la actualidad, en la investigación científica. Inclusive, sirve como principio heurístico eficaz, impulsándonos a indagar soluciones que, ya sea con base en la simetría o en la asimetría, se hacen plausibles con una gran probabilidad. Es más, la física de las partículas elementales se ha convertido prácticamente en una física de las simetrías, hasta el punto de que muchos investigadores ya la denominan de esa manera. En fin, nunca olvidemos que la actividad científica no sólo se orienta por bellas y buenas razones, sino que igualmente procura adquirir información mediante experiencias elegantes y escuetas y, también, requiere de buenos y armoniosos instrumentos.

En las condiciones que hemos relatado, las reglas metódicas son una ayuda muy estimable para la investigación científica y facilitan grandemente la tarea. Ahora bien, toda investigación representa al principio una esperanza, aunque nunca se pueda tener la certeza de que se vaya a alcanzar el resultado que se busca. Cuando se emprende una investigación, el científico se encuentra convencido de que su propósito tiene probabilidades relativamente considerables, pero sabe bien que la posibilidad de lograrlo es azarosa. Tampoco puede prever cuál será el valor del resultado que obten-

ga y, menos todavía, si lo podrá alcanzar personalmente y en un tiempo limitado. Sin embargo, siempre puede estar seguro de que su trabajo no será inútil, ni siquiera cuando el resultado sea negativo. Por otro lado, el investigador tiene que aprender a resolver de manera acertada, los conflictos que el propio proceso de investigación le plantea constantemente. En primer lugar, tiene que encontrar y asumir, en cada caso, una actitud equilibrada entre la poderosa tendencia a desarrollar lo ya conocido y la necesidad, también imperiosa, de descubrir lo desconocido y alcanzar lo imprevisto. Igualmente, debe saber resolver con habilidad el conflicto que confronta permanentemente, entre la conservación de las teorías comprobadas y el descubrimiento de hechos o la invención de posibilidades que las contradicen. También debe tener una gran confianza en la razón, pero sin dejarse arrastrar por ningún dogmatismo de la razón. De la misma manera, tiene que proceder con el mayor rigor lógico, pero sin proscribir por eso la libertad de la imaginación. En suma, la investigación científica exige el trabajo en equipo y la reflexión solitaria, una disciplina estricta y un anticonformismo turbulento, una imaginación desenfrenada y un espíritu crítico muy agudo, una tenacidad obstinada y una gran flexibilidad, una prudencia exagerada y una audacia sin límites.

IV. METODIZACION

13. DEDUCCIÓN

La inferencia deductiva es un razonamiento discursivo mediante el cual se obtiene rigurosamente de uno o varios juicios (que son las premisas) otro juicio (la conclusión) que es la consecuencia necesaria de aquellos, en virtud de las reglas formales correspondientes. La inferencia deductiva puede consistir en poner al descubierto cómo es que la conclusión ya se encuentra contenida en las premisas. En otros casos, la conclusión deducida es implicada por las premisas, porque se encuentra vinculada con ellas de un modo condicionalmente necesario. En otras ocasiones más, resulta simplemente que la conclusión inferida deductivamente es compatible con las premisas. Por lo tanto, la inferencia deductiva es una operación analítica que exhibe las interconexiones formales existentes entre los conocimientos adquiridos. Por sus características, sirve para particularizar concretamente los conocimientos generales. Igualmente, sirve para generalizar una propiedad o una demostración, elevándose entonces del caso especial o privilegiado, al caso general. También se emplea para pasar de una regla a sus aplicaciones, o de un variable a sus valores específicos. Asimismo, es útil para establecer las varias interpretaciones particulares de una fórmula general. La concatenación de inferencias deductivas permite poner de relieve la consecuencia interna del discurso racional, para comunicar así los nuevos conocimientos y exponerlos de una manera convincente. El encadenmiento de inferencias deductivas se emplea también como procedimiento de demostración. En fin, la inferencia deductiva se utiliza para construir hipótesis de trabajo, lo mismo que hipótesis auxiliares para la investigación.

Los juicios que intervienen en las inferencias deductivas pueden ser singulares, particulares o universales, según que se refieran a un solo espécimen, a varios de ellos o a todos. Como ya lo sabemos, el juicio establece una relación determinante entre dos términos; cada uno de los cuales puede estar constituido por uno o más conceptos. Los juicios se formulan para expresar el resultado de un experimento o la consecuencia de un razonamiento. Un juicio se representa lógicamente por medio de una proposición, ya sea utilizando las palabras del lenguaje ordinario, empleando símbolos o por medio de diagramas. En todo caso, cada juicio se puede enunciar en varias proposiciones diferentes, ya sean lingüísticas, simbólicas o gráficas; y las varias proposiciones que expresan un mismo juicio son equivalentes. Los juicios singulares expresan la existencia de un solo elemento de una clase, representada por el término correspondiente. Son juicios singulares los de *prófasis, antífasis, prófasis inversa y antífasis inversa.* Los juicios particulares expresan la relación entre un grupo de procesos o de cualidades y otro grupo de ellos en tanto que coinciden parcialmente. Son

juicios particulares los de *conjunción, discordancia, discordancia inversa* y *heterófasis*. Los juicios universales indefinidos enuncian las relaciones existentes entre dos clases enteras de procesos o de cualidades, en tanto que se corresponden y en cuanto no se corresponden mutuamente. Son juicios universales indefinidos los de *inclusión, implicación, implicación inversa* e *incompatibilidad*. Los juicios universales definidos expresan la relación diferenciada, determinada y precisa entre dos clases de procesos o de cualidades, en cuanto no se corresponden en modo alguno. Son juicios universales definidos los de *recipprocidad, exclusión, pantáfasis y enantiosis*. Los juicios universales, ya sean definidos o indefinidos, se pueden expresar verbalmente como proposiciones categóricas, disyuntivas o condicionales. Las proposiciones categóricas son aquellas en donde la relación se expresa mediante una afirmación o una negación. Las proposiciones disyuntivas expresan de manera explícita las alternativas incluidas en la relación. Y las proposiciones condicionales se formulan de tal modo que uno de los términos enuncia 'la condición y se denomina *antecedente*, mientras que el otro término se encuentra condicionado y recibe el nombre de *consecuente*.

Vamos a ilustrar las diferentes formas del juicio, para tratar de hacer comprensible el largo y abstruso párrafo anterior, con el Cuadro siguiente.

<table>
<tr><th colspan="4">CUADRO DE PROPOSICIONES
ENUNCIATIVAS DE LOS JUICIOS</th></tr>
<tr><th>Forma del juicio</th><th>Proposición Categórica</th><th>Proposición Disyuntiva</th><th>Proposición Condicional</th></tr>
<tr><td>Prófasis</td><td>Es x</td><td>Es x, sea y o no sea y</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="4">Ejemplos: El número π tiene representación geométrica, sea algebraico o no.
La célula es una unidad orgánica, sea microscópica o no.
El rumano es una lengua romance, se parezca a no al castellano.</td></tr>
<tr><td>Prófasis Inversa</td><td>Es y</td><td>Es y, sea x o no sea x</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="4">Ejemplos: El número π es algebraico, tenga representación geométrica o no (falso).
La célula es microscópica, sea una unidad orgánica o no lo sea (falso).
El rumano se parece al castellano, sea o no sea una lengua romance (dudoso).</td></tr>
<tr><td>Antífasis</td><td>No es x</td><td>No es x, sea y o no sea y</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="4">Ejemplos: Una ecuación trigonométrica no es algebraica, tenga o no tenga solución.
La lógica formal no es suficiente, sea necesaria o no.
El mercurio no se encuentra naturalmente en estado sólido, sea o no sea metal.</td></tr>
<tr><td>Antífasis Inversa</td><td>No es y</td><td>No es y, sea x o no sea x</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="4">Ejemplos: Una ecuación trigonométrica no tiene solución, sea algebraica o no (falsa).
La lógica formal no es necesaria, sea suficiente o no (falso).
El mercurio no es metal, ya sea que se encuentre naturalmente en estado sólido o no (falso).</td></tr>
<tr><td>Conjunción</td><td>Algunos x son y</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="4">Ejemplos: La mayoría de los metales son maleables.
Casi todos los cuerpos celestes conocidos son estrellas.
Algunos filósofos son escribidores.</td></tr>
</table>

CUADRO DE PROPOSICIONES

ENUNCIATIVAS DE LOS JUICIOS

Forma del Juicio	*Proposición Categórica*	*Proposición Disyuntiva*	*Proposición Condicional*
Discordancia	Algunos x no son y		
Ejemplos: Uno al menos de los números primos no es impar. Muchas bacterias no son patógenas. Algunos animales cordados no tienen cráneo.			
Discordancia Inversa	Algunos y no son x		
Ejemplos: Uno al menos de los números impares no es primo. Muchos organismos patógenos no son bacterias. Algunos animales con cráneo no son cordados *(falso)*.			
Heterófasis	Algunos que no son x tampoco son y		
Ejemplos: Existen partículas elementales sin carga positiva, que tampoco tienen carga negativa. Nuestra galaxia no es la mayor ni tampoco la menor del universo. Algunos animales acuáticos no son peces, ni tienen respiración branquial.			
Inclusión	Todo *no-x* es y Ningún *no-x* es *no-y*	Es x, o es y, o es ambos	Si no es x, entonces es y Si no es y, entonces es x
Ejemplos: Ningún organismo sexuado no-masculino es no-femenino. Un padre tiene hijos, o tiene hijas, o bien, tiene hijos e hijas a la vez. Si un número complejo no es real, entonces es imaginario.			
Implicación	Todo x es y Ningún x es *no-y*	Es xy, o es y, o ninguno	Si es x, entonces es y Si no es y, entonces no es x

<table>
<tr><th colspan="4">CUADRO DE PROPOSICIONES
ENUNCIATIVAS DE LOS JUICIOS</th></tr>
<tr><th>Forma del Juicio</th><th>Proposición Categoría</th><th>Proposición Disyuntiva</th><th>Proposición Condicional</th></tr>
<tr><td colspan="4">Ejemplos: Todos los peces tienen aletas.
Ningún pez es animal sin aletas.
Todo objeto es mercancía y tiene valor de uso, o tiene valor de uso sin ser mercancía, o bien, ni tiene valor de uso ni es mercancía.
Si un animal es ave, entonces tiene alas.
Si un animal no tiene alas, entonces no es ave.</td></tr>
<tr><td>Implicación Inversa</td><td>Todo y es x
Ningún y es no-x</td><td>Es xy, o es x, o ninguno</td><td>Si es y, entonces es x
Si no es x, entonces no es y</td></tr>
<tr><td colspan="4">Ejemplos: Todos los animales con aletas son peces (falso).
Ningún animal con aletas es pez (falso).
Todo objeto tiene valor de uso y es mercancía, o es mercancía sin tener valor de uso, o bien, no es mercancía ni tiene valor de uso (falso).
Si un animal tiene alas, entonces es ave (falso).
Si un animal no es ave, entonces no tiene alas (falso).</td></tr>
<tr><td>Incompatibilidad</td><td>Todo x es no-y
Ningún x es y</td><td>Es x, o es y, o ninguno</td><td>Si es x, entonces no es y
Si es y, entonces no es x</td></tr>
<tr><td colspan="4">Ejemplos: Toda lengua monosilábica es no-aglutinante.
Ninguna lengua monosilábica es aglutinante.
Los números enteros y positivos son pares, o son impares, o bien, no son pares ni impares.
Si un alumno resulta aprobado en un curso, entonces no resulta reprobado.
Si un alumno resulta reprobado en un curso, entonces no resulta aprobado.</td></tr>
</table>

CUADRO DE PROPOSICIONES

ENUNCIATIVAS DE LOS JUICIOS

Forma del Juicio	*Proposición Categoría*	*Proposición Disyuntiva*	*Proposición Condicional*
Reciprocidad	Todo x es y; y todo y es x Ningún x es *no*-y; y ningún y es *no*-x	Es xy o ninguno	Si es x, entonces es y; y si es y entonces es x Es x si, y sólo si, es y Es x *sii* es y*

Ejemplos: Toda causa tiene un efecto; y todo efecto tiene una causa.
Ninguna causa deja de tener efecto; y ningún efecto deja de tener causa.
Un triángulo es equilátero y equiángulo, o no es equilátero ni equiángulo.
Si una planta es fanerógama, entonces tiene flores; y si una planta tiene flores, entonces es fanerógama.
Dos líneas son paralelas si, y sólo si, se mantienen continuamente equidistantes.
Dos líneas son paralelas *sii* se mantienen continuamente equidistantes.

Forma del Juicio	*Proposición Categoría*	*Proposición Disyuntiva*	*Proposición Condicional*
Exclusión	Todo x es *no*-y; y todo *no*-x es y Ningún x es y; y ningún *no*-x es *no*-y	Es x, o es y, pero no ambos	Si es x, entonces no es y; y si no es y, entonces es x Es x si, y sólo si, no es y Es x *sii* no es y

Ejemplos: Toda función algebraica es función no-trascendente; y toda función no-algebraica es función trascendente.
Ningún animal ovíparo es vivíparo; y ningún animal no-ovíparo es no-vivíparo.
Un triángulo es isósceles o es escaleno, pero no es ambas cosas.
Si una sustancia es ácida, entonces no es alcalina; y si una sustancia no es alcalina, entonces es ácida.
Las bacterias son aerobias si, y sólo si, no son anaerobias.
Las bacterias son aerobias *sii* no son anaerobias.

* El neologismo *sii* significa "si, y sólo si" o, también, "cuando, y sólo cuando".

CUADRO DE PROPOSICIONES

ENUNCIATIVAS DE LOS JUICIOS

Forma del Juicio	*Proposición Categórica*	*Proposición Disyuntiva*	*Proposición Condicional*
Pantáfasis		Es x, es y, es xy o no es ninguno	

Ejemplos: Los polígonos son equiláteros, o son equiángulos, o son equiláteros y equiángulos a la vez, o bien, no son equiláteros ni equiángulos.

Toda mujer tiene hermanos, o tiene hermanas, o tiene hermanos y hermanas, o bien, no tiene hermanos ni hermanas.

Los vertebrados tienen pulmones, o tienen branquias, o tienen pulmones y branquias, o bien, no tienen pulmones ni branquias.

Forma del Juicio	*Proposición Categórica*	*Proposición Disyuntiva*	*Proposición Condicional*
Enantiosis	No existe relación entre x y y		

La enantiosis expresa la falta completa de relación entre los términos. Su principal función consiste en significar la nulidad del resultado de una operación lógica, cuando al ejecutarla se obtiene una enantiosis. En tal caso, la enantiosis indica que la operación no es concluyente.

Las inferencias deductivas pueden ser de siete clases, a saber:

a) inferencias por conversión;
b) inferencias por oposición;
c) inferencias categóricas;
d) inferencias hipotéticas;
e) dilemas;
f) inferencias abreviadas; y,
g) sorites.

Las *inferencias por conversión* tienen una sola premisa y consisten en convertirla en otra proposición equivalente, mediante la ejecución de una operación de inversión, de obversión o de contraversión. Por lo tanto, la conclusión es la misma proposición que sirve de premisa, pero transformada en otra expresión. La *inversión* es la operación que intercambia los términos de la proposición, conservando la misma relación ostensible entre ellos. Es una operación válida para la conjunción, la heterófasis, la inclusión, la incompatibilidad, la reciprocidad y la exclusión. Por ejemplo, la incompatibilidad "Ningún mexicano es astronauta", se convierte por inversión en "Ningún astronauta es mexicano", que también es válida. En cambio, la implicación "Todo polígono es una figura plana", se convertiría por inversión en la proposición "Toda figura plana es un polígono", que no es válida. La *obversión* es la operación que sustituye al segundo término de la proposición por su opuesto, cambiando al mismo tiempo la relación de positiva a negativa, o viceversa. Es una operación que resulta válida para todas las proposiciones particulares y universales. Por ejemplo, la discordancia "Algunas aves no son volátiles", se transforma por obversión en "Algunos animales no-volátiles son no-aves"; o bien, la implicación "Todo insecto es artrópodo", se convierte en "Ningún insecto deja de ser artrópodo". La *contraversión* es la operación que permuta los términos de la proposición, al mismo tiempo que los sustituye por sus opuestos, dejando intacta la relación ostensible entre ellos. Resulta válida para todas las proposiciones universales. Por ejemplo, la inclusión "Si una sustancia no es cristalina, entonces es amorfa", se convierte por contraversión en "Si una sustancia no es amorfa, entonces es cristalina"; igualmente, la incompatibilidad "Si un animal es reptil, entonces no es ave", se contravierte en "Si un animal es ave, entonces no es reptil".

Las *inferencias por oposición* tienen una premisa y pueden tener una o varias conclusiones; con la particularidad de que, en algunos casos, es posible inferir conclusiones válidas de una premisa falsa y, en otros casos, se pueden deducir conclusiones falsas de una premisa válida. Las operaciones que se ejecutan en las inferencias por oposición son la contradicción, la contrariedad, la subcontrariedad y la subalternación. La *contradicción* es la relación existente entre dos premisas tales, que una niega lo que la otra afirma y, viceversa, afirma todo lo que la otra niega. Por consiguiente, son contradictorias las siguientes parejas de proposiciones: prófasis y antífasis; prófasis inversa y antífasis inversa; conjunción e incompatibilidad; discordancia e implicación; discordancia inversa e implicación inversa; heterófasis e inclusión; reciprocidad y exclusión; pantáfasis y enantiosis. Por ejemplo, la discordancia "Algunos números enteros no son positivos", tiene como contradictoria a la implicación "Todo número entero es positivo"; y la reciprocidad "Un animal es mateozoario cuando, y sólo cuando, es pluricelular", tiene como contradictoria a la exclusión "Un

animal es metazoario cuando, y sólo cuando, no es pluricelular". La *contrariedad* se establece cuando dos proposiciones universales, expresadas en forma condicional, resultan coincidir en el antecedente y tener consecuentes opuestos. Entonces, son contrarias las siguientes tríadas de proposiciones: la inclusión con la implicación y la implicación inversa; la implicación con la incompatibilidad y la inclusión; la implicación inversa con la inclusión y la incompatibilidad; y la incompatibilidad con la implicación y la implicación inversa. Por ejemplo, la inclusión "Si una estructura matemática no es algebraica, entonces es topológica; y, si una estructura matemática no es topológica, entonces es algebraica", tiene como contrarias a la implicación inversa "Si una estructura matemática no es algebraica, entonces no es topológica" y a la implicación "Si una estructura matemática no es topológica, entonces no es algebraica".

La *subcontrariedad* es la relación que se presenta entre las proposiciones particulares, cuando coinciden en uno de sus términos y el otro es, en cambio, el opuesto respectivo. Por ende, la subcontrariedad la tenemos en las siguientes tríadas de proposiciones: la conjunción con la discordancia y la discordancia inversa; la discordancia con la conjunción y la heterófasis; la discordancia inversa con la heterófasis y la conjunción; y la heterófasis con la discordancia inversa y la discordancia. Por ejemplo, la conjunción "Algunos insectos tienen alas", tiene como subcontrarias a la discordancia "Algunos insectos no tienen alas" y a la discordancia inversa "Algunos animales alados no son insectos". La *subalternación* es una relación entre proposiciones universales y particulares, establecida porque cada juicio universal contiene implícitamente dos o tres juicios particulares que le son inherentes. En tal caso, la proposición universal es subalternante de las particulares, mientras que éstas se encuentran subalternadas a la universal. Así, por ejemplo, la implicación "Todo polígono cóncavo es escaleno", es subalternante de la conjunción "Algunos polígonos cóncavos son escalenos", de la discordancia inversa "Algunos polígonos escalenos no son cóncavos" y de la heterófasis "Algunos polígonos no son cóncavos ni escalenos"; siendo los tres últimos juicios subalternados del primero.

Las inferencias por oposición se ejecutan de acuerdo con las reglas siguientes:

1) La inferencia por oposición está integrada por una sola premisa y puede tener entre una y siete conclusiones.
2) Las proposiciones que integran la inferencia por oposición pueden ser universales definidas, universales indefinidas y particulares.
3) Entre la premisa y la conclusión, o conclusiones, se tienen solamente dos términos.
4) La premisa de una inferencia por oposición puede ser válida y, también, puede ser falsa.
5) Dos proposiciones contradictorias no pueden ser válidas a la vez; de tal manera que, si una de ellas es válida, entonces la otra es falsa.
6) Dos proposiciones contradictorias no pueden ser falsas a la vez; de tal modo que, si una de ellas es falsa, entonces la otra es válida.
7) Dos proposiciones contrarias no pueden ser válidas simultáneamente; de tal manera que, si una de ellas es válida, entonces la otra es falsa.

8) Dos proposiciones subcontrarias no pueden ser falsas al mismo tiempo; de tal modo que, si una de ellas es falsa, entonces la otra es válida.
9) Si una proposición subalternante es válida, entonces también son válidas las proposiciones que se encuentran subalternadas a ella.
10) Si una proposición subalternada es falsa, entonces también son falsas las proposiciones subalternantes de ella.

Aplicando las reglas anteriores, se pueden ejecutar válidamente 68 modos de la inferencia por oposición. De esos modos, 20 son por contradicción, 8 por contrariedad, 8 por subcontrariedad y 32 por subalternación.

La *inferencia categórica* se efectúa partiendo de dos proposiciones expresadas en forma categórica, esto es, que son afirmativas o negativas de un modo explícito. La conclusión es igualmente una proposición categórica. Las dos premisas están constituidas por tres términos, uno de ellos es común para ambas —el término medio— y los otros dos —los términos extremos— figuran por separado en cada una de las premisas y, juntos, son los integrantes de la conclusión. La ejecución de una inferencia categórica, conocida tradicionalmente como *silogismo*, consiste en poner de manifiesto que la relación entre los términos extremos, que es formulada en la conclusión, se encuentra implicada necesariamente en las relaciones existentes entre dichos extremos y el término medio, tal como están expuestas en las premisas. Por consiguiente, la conclusión se infiere de las premisas a través del término medio, que desempeña así la función de operador de la inferencia. Por ejemplo, en la inferencia:

Premisa: Todo cetáceo es animal acuático.
Premisa: Ningún cetáceo es pez.
Conclusión: Algunos animales acuáticos no son peces.

El término medio es "cetáceo" y los términos extremos son "animal acuático" y "pez".

La ejecución correcta de las inferencias categóricas se encuentra condicionada por el cumplimiento de las reglas que se expresan a continuación:

1) La inferencia categórica está integrada por tres proposiciones: dos premisas y una conclusión.
2) Las tres proposiciones que componen una inferencia categórica pueden ser universales o particulares.
3) Entre las dos premisas y la conclusión se tienen solamente tres términos: dos términos extremos y un término medio.
4) El término medio figura en las dos premisas, pero no en la conclusión.
5) Cada término extremo figura en una premisa y en la conclusión, pero no en la otra premisa.
6) La conclusión de una inferencia categórica es un resultado único.
7) Cuando una de las premisas, o las dos, son proposiciones cuya inversión es equivalente, entonces el intercambio de los términos en esas premisas no altera la conclusión.
8) El cambio en el orden de las premisas no altera la conclusión, siempre que se conserve el mismo orden entre los tres términos, inclusive invirtiendo las premisas y la conclusión.

9) Para que la inferencia sea concluyente, una de las premisas, por lo menos, debe ser una proposición universal. Por lo tanto, cuando las dos premisas son particulares, la inferencia no es concluyente.

10) Si una de las premisas es una proposición particular, entonces la conclusión también es una proposición particular.

11) Si la inferencia es concluyente y las dos premisas son válidas, entonces la conclusión es válida.

12) Si la inferencia es concluyente y una de las premisas es falsa, entonces la conclusión es falsa.

13) Si la inferencia es concluyente y la conclusión es falsa, entonces una de las premisas, por lo menos, es también falsa.

14) Si las dos premisas son proposiciones universales definidas, entonces la conclusión también es una proposición universal definida.

15) Si una de las premisas es una proposición universal definida y la otra es universal indefinida, entonces la conclusión es una proposición universal indefinida.

16) Si una de las premisas es una proposición universal definida y la otra es particular, entonces la conclusión es una proposición particular.

17) Si las dos premisas son proposiciones universales indefinidas y el término medio está afirmado en una de ellas y negado en la otra, entonces la conclusión es una proposición universal indefinida. En caso de no cumplirse esa condición de oposición del término medio en las premisas, la conclusión será una proposición particular.

18) Si una de las premisas es una proposición universal indefinida en la cual está afirmado el término medio y la otra es una proposición particular, entonces la inferencia será concluyente solamente cuando la premisa particular niegue al término medio.

19) Si una de las premisas es una proposición universal indefinida en la cual está negado el término medio y la otra es una proposición particular, entonces la inferencia será concluyente únicamente cuando la premisa particular afirme al término medio.

De acuerdo con las Reglas 7 y 8, desaparece la distinción tradicional de las cuatro figuras del silogismo y, además, los 19 modos válidos de la lógica tradicional quedan reducidos a 8 formas diferentes. Ahora bien, entre las 10 clases de proposiciones que pueden servir como premisas, tomadas de dos en dos, son posibles 100 combinaciones. Pero, de acuerdo con la Regla 9, quedan excluidos los 16 casos en que ambas premisas son proposiciones particulares, por no ser concluyentes. Igualmente, conforme a las Reglas 18 y 19, quedan excluidos por la misma razón de no resultar concluyentes, 16 de los casos en que una premisa es universal indefinida y la otra es particular. Por lo tanto, quedan 68 formas válidas de la inferencia categórica. Sin embargo, todavía resulta que 31 de esos casos se encuentran incluidos en otros, ya que su única diferencia está en el orden de sus premisas, razón por la cual podemos excluirlos con base en la Regla 8. Entonces, quedan finalmente 37 formas válidas distintas de la inferencia categórica. No obstante, cuando consideramos como modos diferentes a las diversas combinaciones que se pueden hacer con las mismas premisas, invirtiendo sus términos y cambiando el orden de las propias premisas, en esas 37 formas se encuentran comprendidos 184 modos válidos. O sea, que hemos agregado 168 más a los 19 modos considerados en la lógica tradicional.

Las *inferencias hipotéticas* se efectúan partiendo de una proposición universal y otra singular, referidas a dos términos solamente, de las cuales se obtiene como conclusión una proposición singular. Cuando la premisa universal está expresada como proposición disyuntiva, la inferencia se llama *disyuntiva*. En cambio, si la premisa universal está expresada en forma condicional, entonces la inferencia se denomina *condicional*. Como es fácil advertir, cada inferencia disyuntiva tiene como equivalente a una inferencia condicional, y viceversa. Las inferencias hipotéticas se caracterizan por la forma de su premisa singular y la de su conclusión. Cuando la premisa singular es una prófasis y la conclusión es igualmente una proposición profática, la inferencia se denomina *modus ponendo ponens*, o sea, modo afirmativo por afirmación. Si la premisa singular es una proposición profática y la conclusión es una antífasis, la inferencia recibe el nombre de *modus ponendo tollens*, es decir, modo negativo por afirmación. Cuando la premisa singular es una antífasis y la conclusión es una proposición profática, la inferencia se llama *modus tollendo ponens*, esto es, modo afirmativo por negación. En fin, si la premisa singular es una antífasis y la conclusión también es una proposición antifática, se tiene una inferencia del *modus tollendo tollens*, o sea, del modo negativo por negación. Las reglas para ejecutar las inferencias hipotéticas, son las siguientes:

1) La inferencia hipotética está integrada por tres proposiciones: dos premisas y una conclusión.
2) Una de las premisas de la inferencia hipotética tiene que ser una proposición universal, definida o indefinida, mientras que la otra premisa y la conclusión siempre son proposiciones singulares.
3) Entre las dos premisas y la conclusión se tienen solamente dos términos: un término medio y un término extremo.
4) El término medio figura en las dos premisas, pero no en la conclusión.
5) El término extremo figura en la premisa universal y en la conclusión, pero no en la premisa singular.
6) La conclusión de una inferencia hipotética es un resultado único.
7) Si la inferencia es concluyente y las dos premisas son válidas, entonces la conclusión es válida.
8) Si la inferencia es concluyente y una de las premisas es falsa, entonces la conclusión es falsa.
9) Si la inferencia es concluyente y la conclusión es falsa, entonces una de las premisas, por lo menos, es también falsa.
10) La inferencia hipotética es concluyente solamente cuando la premisa singular es igual al antecedente de una de las expresiones condicionales de la premisa universal.

De acuerdo con esas reglas, resultan 4 formas válidas de la inferencia hipotética para cada uno de sus 4 modos, lo cual da un total de 16 formas válidas. Como ejemplos, tenemos los que siguen:

Premisa: Todo proceso metabólico es anabólico, o es catabólico, o bien, es anabólico y catabólico simultáneamente.
Premisa: El proceso metabólico de la oxidación no es anabólico.
Conclusión: El proceso metabólico de la oxidación es catabólico.

Premisa: Si una propiedad geométrica es invariante homotésica, entonces es invariante métrica.

Premisa: El ser vértice superior de un triángulo no es una invariante métrica.

Conclusión: El ser vértice superior de un triángulo no es una invariante homotésica.

Los *dilemas* son inferencias constituidas por tres premisas, que son proposiciones universales, y una conclusión, que puede ser singular o universal. Se acostumbra expresar las dos primeras premisas en forma condicional y la tercera en forma disyuntiva. Por eso es que también se le llama al dilema inferencia disyuntivo-condicional. Cuando en el dilema se tienen solamente tres términos, la conclusión es una proposición singular y el dilema es *simple.* Si los términos del dilema son cuatro, entonces la conclusión es una proposición universal y el dilema es *complejo.* Los dilemas pueden ser afirmativos o negativos, según lo sea su conclusión. Las reglas para ejecutar los dilemas simples y complejos. son las siguientes:

1) El dilema está integrado por cuatro proposiciones: tres premisas y una conclusión.
2) Las tres premisas del dilema son proposiciones universales.
3) En el dilema simple, la conclusión es una proposición singular.
4) En el dilema complejo, la conclusión es una proposición universal.
5) En el dilema simple, entre las tres premisas y la conclusión se tienen solamente tres términos: dos términos medios y un término extremo.
6) En el dilema simple, cada término medio figura en una de las dos primeras premisas y en la tercera, pero no en la conclusión.
7) En el dilema simple, el término extremo figura en las dos primeras premisas y en la conclusión, pero no en la tercera premisa.
8) En el dilema complejo, entre las tres premisas y la conclusión se tienen solamente cuatro términos: dos términos medios y dos términos extremos.
9) En el dilema complejo, cada término medio figura en una de las dos primeras premisas y en la tercera, pero no en la conclusión.
10) En el dilema complejo, cada término extremo figura en una de las dos primeras premisas y en la conclusión, pero no en la tercera premisa.
11) La conclusión de un dilema, simple o complejo, es un resultado único.
12) Si el dilema es concluyente y las tres premisas son válidas, entonces la conclusión es válida.
13) Si el dilema es concluyente y una de las premisas es falsa, entonces la conclusión es falsa.
14) Si el dilema es concluyente y la conclusión es falsa, entonces una de las premisas, por lo menos, es también falsa.
15) El dilema simple es concluyente únicamente cuando cada uno de los términos medios es afirmado y negado, respectivamente, en las premisas en que figura y, además, el término extremo figura afirmado o negado, simultáneamente, en las dos premisas; entonces, la conclusión es el término extremo afirmado o negado, tal como se encuentre precisamente en las premisas.

16) El dilema complejo es concluyente solamente cuando cada uno de los términos medios es afirmado y negado, respectivamente, en las premisas en que figura; y, entonces, en la conclusión los términos extremos se encuentran afirmados o negados, precisamente tal como se encuentren en las premisas en que figuran.

De acuerdo con esas reglas, resultan 16 formas válidas del dilema simple, con 8 casos positivos y 8 casos negativos; y 32 formas válidas del dilema complejo. Como un ejemplo del dilema simple, tenemos el siguiente:

Premisa: Si una norma jurídica es justa, entonces tiene que cumplirse.
Premisa: Si una norma jurídica es injusta, entonces tiene que cumplirse.
Premisa: Toda norma jurídica es justa o es injusta.
Conclusión: Las normas jurídicas tienen que cumplirse.

Ahora, como ejemplo de dilema complejo, presentamos el que sigue:

Premisa: Si una partícula elemental no tiene carga positiva, entonces tiene espín.
Premisa: Si una partícula elemental no tiene carga negativa, entonces tiene espín.
Premisa: Las partículas elementales no tienen carga positiva, o no tienen carga negativa, o bien, no tienen carga alguna.
Conclusión: Las partículas elementales tienen espín, ya sea que no tengan carga positiva o que no tengan carga negativa.

Las *inferencias abreviadas* son aquellas en las cuales se omite la formulación explícita de alguna de las proposiciones que la constituyen. Por lo general, una proposición se omite porque se considera obvia, o porque está aceptada de manera implícita en el contexto o, simplemente, porque de ese modo se aligera el discurso. Tales abreviaturas se utilizan con frecuencia en los escritos y en las exposiciones orales, tanto en las actividades cotidianas como en la investigación científica. Entonces, cuando nos encontramos con una inferencia abreviada y necesitamos saber si se encuentra formulada correctamente, tenemos que completar el razonamiento, estableciendo explícitamente la proposición omitida. Así, por ejemplo, examinando la inferencia abreviada que sigue:

Todos los números que tienen representación geométrica son números reales, por lo tanto, el número $\sqrt{2}$ es real;

advertimos, desde luego, que se encuentran enunciadas dos proposiciones y que la primera explica, o condiciona, a la segunda. En consecuencia, podemos poner en claro que la primera proposición es una implicación que sirve de premisa, en tanto que la segunda proposición es una prófasis inversa que resulta como conclusión. Se trata, por lo tanto, de una inferencia hipotética, en donde hace falta establecer la otra premisa, en la cual se exprese la relación entre el término "$\sqrt{2}$" y el término "números que tienen representación geométrica". Como es fácil advertir, la premisa faltante es la proposición profática "El número $\sqrt{2}$ tiene representación geométrica". De esa manera, habremos completado la inferencia hipotética que estaba abreviada y cuya formulación explícita es la siguiente:

Premisa: Todos los números que tienen representación geométrica son números reales.
Premisa: El número $\sqrt{2}$ tiene representación geométrica.
Conclusión: El número $\sqrt{2}$ es real.

Los *sorites* son cadenas de inferencias, generalmente categóricas, en-

lazadas de tal manera que la conclusión de una de ellas es utilizada como premisa en la siguiente inferencia. De esa manera, el sorites es una inferencia compuesta o polisilogismo. Además, se acostumbra que para cada una de las inferencias que constituyen los eslabones de la cadena, se vaya agregando solamente una premisa nueva, omitiéndose la enunciación explícita de las proposiciones obtenidas como conclusiones intermedias y que son empleadas como premisas de las inferencias siguientes. Cuando las premisas están ordenadas, la cadena reciba el nombre de *sorites aristotélico;* mientras que, cuando dichas premisas están desordenadas, la cadena de inferencias se denomina *sorites gocleniano.*

Consideremos, por ejemplo, el sorites aristotélico formado por la siguiente cadena de inferencias:

> El número 29 es un número primo y, como todos los primos son enteros positivos, y todos los enteros positivos son naturales, y todos los naturales son racionales, y todos los racionales son reales, y todos los reales son complejos, y todos los complejos son escalares, entonces el número 29 es un escalar.

Esa cadena de inferencias la podemos desarrollar de la siguiente manera:

Premisa: El número 29 es un número primo.
Premisa: Todos los números primos son enteros positivos.
(Conclusión omitida: El número 29 es un número entero positivo).
(Premisa omitida: El número 29 es un número entero positivo).
Premisa: Todos los números enteros positivos son números naturales.
(Conclusión omitida: El número 29 es un número natural).
(Premisa omitida: El número 29 es un número natural).
Premisa: Todos los números naturales son números racionales.
(Conclusión omitida: El número 29 es un número racional).
(Premisa omitida: El número 29 es un número racional).
Premisa: Todos los números racionales son números reales.
(Conclusión omitida: El número 29 es un número real).
(Premisa omitida: El número 29 es un número real).
Premisa: Todos los números reales son números complejos.
(Conclusión omitida: El número 29 es un número complejo).
(Premisa omitida: El número 29 es nu número complejo).
Premisa: Todos los números complejos son números escalares.
Conclusión: El número 29 es un número escalar.

Como ejemplo de sorites gocleniano, consideremos la cadena desordenada de inferencias siguiente:

> Las únicas leyendas hermosas son las que se refieren a los habitantes de las orillas del Termodonte. Los valientes siempre obran prodigios. Todo lo que olvido me fascina. Solamente los valientes son batalladores. Los adoradores de la Luna son contemplativos. A orillas del Termodonte únicamente habitan las amazonas. Si una leyenda no es hermosa la olvido. Las amazonas son batalladoras. Los contemplativos nunca danzan. Quienes obran prodigios son adoradores de la Luna. Por consiguiente: Me fascina danzar.

Esa cadena la podemos ordenar y desarrollar explícitamente, de la manera que sigue:

Premisa: Solamente los valientes son batalladores.
Premisa: Las amazonas son batalladoras.

(Conclusión omitida: Las amazonas son valientes).
(Premisa omitida: Las amazonas son valientes).
Premisa: Los valientes siempre obran prodigios.
(Conclusión omitida: Las amazonas obran prodigios).
(Premisa omitida: Las amazonas obran prodigios).
Premisa: Quienes obran prodigios son adoradores de la Luna.
(Conclusión omitida: Las amazonas son adoradoras de la Luna).
(Premisa omitida: Las amazonas son adoradoras de la Luna).
Premisa: A orillas del Termodonte únicamente habitan las amazonas.
(Conclusión omitida: Los habitantes de las orillas del Termodonte son adoradores de la Luna).
(Premisa omitida: Los habitantes de las orillas del Termodonte son adoradores de la Luna).
Premisa: Las únicas leyendas hermosas son las que se refieren a los habitantes de las orillas del Termodonte.
(Conclusión omitida: Todas las leyendas hermosas se refieren a los adoradores de la Luna).
(Premisa omitida: Todas las leyendas hermosas se refieren a los adoradores de la Luna).
Premisa: Si una leyenda no es hermosa la olvido.
(Conclusión omitida: A quienes no son adoradores de la Luna los olvido).
(Premisa omitida: A quienes no son adoradores de la Luna los olvido).
Premisa: Todo lo que olvido me fascina.
(Conclusión omitida: Quienes no son adoradores de la Luna me fascinan).
(Premisa omitida: Quienes no son adoradores de la Luna me fascinan).
Premisa: Los adoradores de la Luna son contemplativos.
(Conclusión omitida: Quienes no son contemplativos me fascinan).
Premisa omitida: Quienes no son contemplativos me fascinan.
Premisa: Los contemplativos nunca danzan.
Conclusión: Todo lo que sea danzar me fascina.

O bien, como se dice en un principio:

Conclusión: Me fascina danzar.

14. INDUCCIÓN

La inferencia inductiva es un razonamiento discursivo en el cual se parte de varias proposiciones, que generalmente son singulares o particulares, para establecer otra proposición o varias proposiciones más generales. Las premisas se llaman también *inductrices* y la conclusión o conclusiones reciben el nombre de proposiciones *inducidas*. En todo caso, las proposiciones inducidas tiene que implicar a todas las proposiciones inductrices correspondientes. Cuando se parte directamente de los resultados de la observación y el experimento, la conclusión inducida establece ciertas relaciones que, luego, permiten reconstruir racionalmente los procesos observados y predecir la existencia de otros procesos de la misma clase. Y, cuando se parte de ciertas proposiciones ya establecidas de manera concluyente, entonces la inferencia inductiva permite concluir otra proposición más general, que implica necesariamente a las proposiciones inductrices. En consecuencia, si las premisas son singulares, la conclusión puede ser particular o universal. Si las premisas son particulares, la conclusión será universal. Y, cuando las premisas son universales indefinidas, entonces la conclusión será universal definida. Por lo demás, el hecho de que la conclusión haya sido inducida correctamente, no es suficiente para garantizar su validez. Porque el único criterio riguroso de validación para el resultado de cualquier operación lógica que se ejecute, es el de su objetividad, la cual se verifica por medio de su correspondencia efectiva con los resultados experimentales. La inferencia inductiva puede ser de alguno de los trece tipos siguientes:

1) por enumeración completa;
2) por coligación;
3) por reconstrucción;
4) por amplificación;
5) por concordancia;
6) por diferencia;
7) por concordancia y diferencia;
8) por residuo;
9) por variaciones concomitantes;
10) por muestreo;
11) por estadística;
12) por inducción matemática; y,
13) por recursión.

La *inferencia por enumeración completa* parte de un conjunto de procesos singulares, considerándolos uno a uno, para inferir así la fórmula general que los comprende a todos. Entonces, lo que va quedando deter-

minado particularmente para cada uno de los elementos del conjunto, y siempre que sea común a todos ésos elementos, se establece como conclusión general. Para poder efectuar este tipo de inferencia, se requiere que el número de elementos del conjunto sea finito y, relativamente, reducido. También se necesita poder determinar en cada uno de ellos la propiedad que luego se infiere como propiedad común de todos los miembros de la clase. En todo caso, la relación enunciada en la conclusión no agrega nada más de lo que ya está determinado por las proposiciones inductrices; puesto que la proposición inducida lo único que hace es referir simplemente al conjunto entero una propiedad, que ya había quedado establecida separadamente para todos y cada uno de sus miembros. En ese sentido, la conclusión viene a ser una especie de resultado de la adición de las premisas.

Por ejemplo, a través de las observaciones astronómicas directas y de los cálculos ejecutados con sus resultados, se pudieron establecer las siguiente proposiciones:

> Mercurio describe una órbita elíptica.
> Venus describe una órbita elíptica.
> La Tierra describe una órbita elíptica.
> Marte describe una órbita elíptica.
> Las decenas de millares de asteroides, o planetoides. conocidos, describen órbitas elípticas.
> Júpiter describe una órbita elíptica.
> Saturno describe una órbita elíptica.
> Urano describe una órbita elíptica.
> Neptuno describe una órbita elíptica.
> Plutón describe una órbita elíptica.

Entonces, utilizando a dichos juicios como inductores y considerando que constituyen una enumeración completa, se puede inducir como conclusión el juicio siguiente:

> Todos los planetas del sistema solar describen órbitas elípticas.

En otros casos, la inferencia por enumeración completa lleva a la conclusión de un juicio universal con pocas excepciones. Un ejemplo de eso lo tenemos en el examen exhaustivo que se ha hecho de los sustantivos de la lengua castellana, para llegar a inducir como conclusión, la regla gramatical enunciada en el juicio siguiente:

> Todos los sustantivos castellanos terminados en *or* son masculinos, salvo *flor* y *labor*, que son femeninos, y *calor*, *color* y *sabor*, que admiten los dos géneros.

La *inferencia por coligación* permite establecer una relación general, que se encuentra implícita en las propiedades de los elementos de un conjunto. En este caso, también se requiere que en los elementos del conjunto se pueda hacer la determinación de una manera singular. Pero, además, se necesita que la determinación se haga en forma ordenada. Entonces, lo que se concluye es una propiedad del conjunto, obtenida con base en las propiedades determinadas en sus elementos; pero que no pertenece a dichos elementos considerados por separado. Por consiguiente, el enunciado del juicio inducido por coligación difiere del enunciado de los juicios inductores; no obstante lo cual, tales enunciados son equivalentes, porque el juicio inducido representa el resultado de la integración de los juicios inductores. En esas condiciones, la conclusión no es un juicio universal con respecto

a los miembros del conjunto, sino un juicio singular en el cual se expresa una propiedad del conjunto considerado como una unidad total.

Por ejemplo, cuando Juan Sebastián Elcano terminó el viaje de circunnavegación iniciado por Magallanes, recorriendo la Tierra en un mismo sentido, hasta volver al punto de partida, se pudo establecer rigurosamente la conclusión inducida por coligación de la solidez y la esfericidad de nuestro planeta. Por otra parte, si tomamos una cinta de papel y la unimos por sus extremos, después de haberla torcido un ángulo de 180°, habremos formado una banda de Moebius. Pues bien, sobre esa banda podemos realizar la experiencia de recorrerla por su borde en un solo sentido y volver al mismo punto de partida, sin dejar de pasar por todos y cada uno de los puntos de ese borde. Como consecuencia, podremos inferir que la banda de Moebius tiene un solo borde, ya que éste es una línea cerrada. En esa misma banda, podemos realizar igualmente la experiencia de recorrer su superficie entera en uno y el mismo sentido, barriéndola con una varilla por ejemplo, y volver al punto del cual partimos. Entonces, también podremos inferir que la banda de Moebius tiene una sola cara y hasta podemos iluminarla con un solo color.

La *inferencia por reconstrucción* es la que establece una relación ya desaparecida, con base en los documentos, registros, testimonios y otros indicios que subsistan. Tales indicios son considerados como pruebas de la existencia de un hecho o, por lo menos, como huellas que hacen plausible la consideración de su existencia pasada. De esa manera, los inductores son los indicios que sirven como puntos de partida, en tanto que la conclusión inducida es el hecho reconstituido. Al ejecutar una inferencia por reconstrucción, se presentan muchas posibilidades de cometer equivocaciones y, por supuesto, con un solo error que se cometa, puede quedar invalidada la cadena entera de razonamientos establecida. Además, aunque los testimonios conservados sean numerosos, generalmente no son completos y, por lo tanto, es necesario suplir los datos que faltan por medio de conclusiones inferidas por analogía. La reconstrucción inductiva se utiliza principalmente en la historia, la arqueología, la geología, la paleontología, la cosmología, la filología y el psicoanálisis. Los elementos en que se apoya una inducción por reconstrucción son de los más variados. En todo caso, dichos elementos tienen que ser sometidos previamente a una crítica rigurosa, para determinar su origen, su autenticidad, su admisibilidad, su verosimilitud, su precisión, su valor testimonial y su significado objetivo. Y sólo después de haber sufrido ese examen estricto, es que la interpretación lógica de esos elementos puede servir como fundamento para establecer las inferencias reconstructivas que permitan explicar y comprender los hechos pasados. Por otra parte, la inferencia por reconstrucción también se aplica en aquellos casos en donde únicamente nos son accesibles algunos efectos producidos por ciertos procesos, mientras que sus otras manifestaciones no las podemos observar, o bien, empleamos igualmente la inferencia por reconstrucción cuando los procesos mismos se encuentran fuera de nuestro alcance. Tal ocurre, por ejemplo, con las interacciones que se producen en el interior de los núcleos atómicos y, también, con las interacciones que tienen lugar en el interior de los objetos estelares. En ambos casos, tenemos necesidad de establecer inferencias por reconstrucción, no obstante que los procesos no pertenecen al pasado, sino que están sucediendo en el presente.

La repetición de experimentos singulares acerca de procesos pertene-

cientes a una misma clase, en los cuales se manifieste la relación entre dos de sus propiedades, conduce a la formulación de los juicios particulares respectivos que, luego, dan lugar a inducir como conclusión un juicio universal con respecto a los mismos términos. En tal caso, se ejecuta una *inferencia por amplificación*, mediante la cual la relación formulada en los juicios inductores se extiende a todos los miembros de la clase, no obstante que dicha relación ha sido establecida solamente para un grupo reducido de miembros de la clase. Por lo tanto, la misma relación determinada en los juicios inductores queda expresada en la conclusión inducida, como relación correspondiente a la clase entera. En cierto sentido, la inferencia amplificadora es un caso especial de la inferencia por analogía, ya que la relación encontrada para un subconjunto es transferida por analogía al conjunto en su integridad. De esa manera, se pasa del conocimiento de un número reducido de casos particulares, al conocimiento del caso general. Así, por ejemplo, de tres proposiciones particulares se puede inferir una proposición universal, como en el caso siguiente:

Premisa: Algunas palabras agudas no son graves.
Premisa: Algunas palabras graves no son agudas.
Premisa: Algunas palabras no son agudas ni graves.
Conclusión: Ninguna palabra aguda es grave.

De manera semejante, después de haber verificado el cumplimiento simultáneo de dos proposiciones universales indefinidas, se puede inducir por amplificación, una proposición universal definida, como ocurre en el ejemplo que sigue:

Premisa: Si un número es producto de números primos, entonces es número natural.
Premisa: Si un número es natural, entonces es producto de números primos.
Conclusión: Un número es producto de números primos cuando, y sólo cuando, es un número natural.

Como se puede advertir, en ese caso, la primera premisa enuncia una condición necesaria, en tanto que la segunda establece una condición suficiente y, por último, la conclusión formula una condición necesaria y suficiente.

Por otra parte, cuando se han podido establecer con fundamento las relaciones correspondientes a las cuatro formas particulares del juicio, con respecto a los mismos dos términos, entonces se puede inducir por amplificación un juicio de pantáfasis. Así, por ejemplo:

Premisa: Algunos números racionales enteros son positivos.
Premisa: Algunos números racionales enteros no son positivos.
Premisa: Algunos números racionales positivos no son enteros.
Premisa: Algunos números racionales no son enteros ni tampoco son positivos.
Conclusión: Los números racionales son enteros y positivos, o son enteros pero no son positivos, o son positivos sin ser enteros, o bien, no son enteros ni tampoco positivos.

Cuando se advierte la existencia de una condición común dentro de un grupo de acontecimientos, entonces se puede inferir que esa condición en la cual concuerdan, forma parte de la causa de esos acontecimientos, o es uno de sus efectos o, al menos, se encuentra en una relación funcional con tales acontecimientos. El fundamento de una *inferencia por concordancia*

se encuentra en la comparación de las condiciones en que se producen los acontecimientos, para determinar cuál o cuáles de esas condiciones son comunes a todos los casos examinados. Naturalmente, mientras mayor sea el número y la variedad de los casos examinados, también será mayor la probabilidad de que la condición concordante esté vinculada con los acontecimientos. En todo caso, la inferencia por concordancia únicamente lleva a la conclusión de que una condición y un acontecimiento coexisten, o de que el segundo sucede constantemente a la primera o, en fin, de que ambos se encuentran ligados por una uniformidad; pero sin que quede determinado el tipo concreto de relación de uniformidad de que se trate. Por otra parte, la inferencia por concordancia también produce una conclusión negativa importante: cualquiera condición que no sea común a todos los acontecimientos observados, no puede estar vinculada con tales acontecimientos de manera causal, ni por sucesión, ni por coexistencia necesaria.

Supongamos, por ejemplo, que un grupo de químicos y fisiólogos realiza investigaciones consistentes en introducir, en las moléculas de los esteroides, átomos de los elementos halógenos (flúoro, cloro, bromo, yodo y astatinio), para observar los efectos que esas moléculas halogenadas producen en el metabolismo de los cobayos. Por supuesto, introducen los átomos en todas las combinaciones posibles: cada átomo por separado, en parejas, en tríadas, en cuaternas y en quinterna. Como resultado de sus experimentos, encuentran efectos de tres tipos: a) la presentación de una actividad anabólica notable; b) la intensificación del metabolismo en general; y, c) la formación de tumores. Ahora bien, supongamos que en todos los casos en que introdujeron flúoro, se produjo el primer efecto; mientras que los otros dos efectos se presentaron unas veces y otras no, sin poderlos hacer corresponder con la introducción previa de los átomos de los otros halógenos en las moléculas de esteroides. Entonces, el grupo de investigadores llegaría a la conclusión, mediante una inferencia inductiva por concordancia, de que existe una relación de causalidad entre la presencia del flúoro en los esteroides y la manifestación de una actividad anabólica notable en los cobayos.

Cuando se advierte la coincidencia entre la falta de una condición y la ausencia de un acontecimiento, entonces se puede inferir que esa condición cuya omisión se hace notar de esa manera, forma parte de la causa de ese acontecimiento, o es uno de sus efectos o, por lo menos, se encuentra en una relación funcional con tal acontecimiento. El fundamento de una *inferencia por diferencia* se tiene en la comparación entre dos series de casos tales que, en una de ellas si se haya producido el acontecimiento que se está investigando, mientras que en la otra serie no se haya producido. Entonces se eliminan todas las condiciones que sean comunes, hasta llegar a descubrir una condición que esté presente solamente cuando se produce el acontecimiento y que falte cuando el acontecimiento no se produce. Por supuesto, mientras mayor sea el número de casos observados, se podrán eliminar o contrarrestar más fácilmente los efectos de las circunstancias fortuitas, consiguiéndose así mayor probabilidad para la conclusión de la inferencia. En todo caso, la inferencia por diferencia lleva simplemente a la conclusión de que una condición y un acontecimiento se suceden o coexisten o, lo que es lo mismo, que se encuentran enlazados por alguna uniformidad, aun cuando no queda esclarecido el tipo concreto de esa relación. Además, la ejecución de este tipo de inferencia requiere de una precisión considerable en la determinación unívoca de la condición distinta, para evi-

tar la confusión de introducir implícitamente algún otro factor que no actúe realmente como causa o como efecto. Por otra parte, la inferencia por diferencia tiene igualmente una conclusión negativa, que es: cualquiera condición que no se presente siempre cuando se produce un acontecimiento, no puede estar relacionada causalmente con éste en forma necesaria, ni por sucesión ni tampoco por coexistencia.

Como ejemplo ilustrativo de inferencia por diferencia, podemos considerar el resultado de los experimentos realizados por Pasteur, para verificar que los organismos vivos siempre provienen de otros organismos vivos. Con ese propósito, Pasteur utilizó unas redomas de vidrio con un cuello largo y doblemente encorvado, para impedir que los gérmenes contenidos en el aire llegaran hasta el líquido colocado en esos recipientes. Entonces llenó las redomas con una solución de levadura de cerveza, que es muy susceptible a la contaminación. Luego eliminó los gérmenes por medio de la ebullición, consiguiendo además que el vapor de agua arrastrara al exterior el aire contenido en los recipientes y selló éstos. Después ascendió a un lugar de los Alpes, para realizar el experimento lejos de cualquier contacto humano o animal y de toda vegetación. Entonces abrió las redomas y tomó muestras de aire de cada una, dejando una parte de ellas sin sellar y sellando de nuevo las otras. Así dejó transcurrir la noche. A la mañana siguiente examinó las redomas. El líquido contenido en las redomas que habían quedado abiertas, se encontraba alterado por gérmenes orgánicos. En cambio, en las redomas cerradas no se había producido contaminación, salvo en una de ellas. Ese único caso de alteración lo atribuyó, razonablemente, a alguna contaminación fortuita por causas inadvertidas. En consecuencia, considerando que la alteración se produjo solamente en las redomas expuestas al aire y al polvo, Pasteur pudo llegar a la conclusión, mediante una inferencia inductiva por diferencia, de que:

> La causa única de la vida que se manifiesta en las infusiones, es el polvo suspendido en el aire.

Para superar las limitaciones inherentes a las inferencias por concordancia y por diferencia, se recurre a la combinación de ambas en una sola, que es la *inferencia por concordancia y diferencia.* La conclusión de este tipo de inferencia se eleva a un grado de probabilidad mucho mayor que cuando solamente se realiza una u otra de las dos operaciones simples que la constituyen. El fundamento de este tipo de inferencia se tiene en la comparación entre dos series tales que, en una de ellas se tenga la ocurrencia de un acontecimiento simultáneamente a la presencia de una condición, en tanto que en la otra se tenga la ausencia de dicho acontecimiento coincidiendo con la falta de esa misma condición. Entonces, esa condición común en la cual concuerdan positiva y negativamente las dos series de casos, forma parte de los factores causales del acontecimiento en cuestión, o coexiste con éste, o es una de sus consecuencias. La conclusión se establece en la doble coincidencia, entre la presencia de la condición y el acontecimiento, lo mismo que entre la ausencia de ambos.

Como ejemplo ilustrativo de este tipo de inferencia, podemos considerar el experimento efectuado por Mechnikov para mostrar la eficacia del protocloruro de mercurio en la curación de la sífilis. Para ese efecto, Mechnikov inoculó con *Treponema pallidum* en estado de activa virulencia, a un grupo de monos antropoides. Al cabo de una hora, frotó con una pomada de protocloruro de mercurio a una parte de los monos inoculados, en el mismo sitio en que los había raspado para producirles la infección. En

cambio, a la otra parte de los monos no les aplicó la pomada. Treinta días después, los monos a los que había aplicado la pomada se encontraban completamente sanos, en tanto que los monos a los que no se les había aplicado estaban enfermos de sífilis. En consecuencia, considerando la coincidencia entre la aplicación del protocloruro de mercurio y la falta de desarrollo de la enfermedad, a la vez que la coincidencia entre la falta de aplicación de la pomada y el desarrollo de la enfermedad, Mechnikov pudo concluir, mediante una inferencia por concordancia y diferencia, que el protocloruro de mercurio era la causa de la curación de la sífilis.

Cuando se ejecutan experimentos en los cuales ya se tienen conocidas las relaciones de mutua determinación existentes entre algunas de las condiciones y varios de los acontecimientos resultantes, entonces se formula la hipótesis de que, entre las condiciones que quedaron como residuo, y los acontecimientos producidos también como residuo de los ya vinculados con otras condiciones, existe alguna relación de coexistencia o de sucesión. La *inferencia por residuo* que entonces se practica, establece la posible relación entre las condiciones y los acontecimientos que no están incluidos en las relaciones ya determinadas previamente. Mientras mayor sea el número de relaciones conocidas con anterioridad, será más precisa la determinación del vínculo entre las condiciones residuales y los acontecimientos desligados. Ahora bien, al igual que en los casos anteriores, la inferencia por residuo solamente permite concluir la coexistencia o la sucesión probablemente necesaria entre las condiciones y los acontecimientos en cuestión, sin que se pueda concretar todavía el tipo de relación de uniformidad que los vincula. Por lo demás, el hecho de excluir abstractamente a los antecedentes ya conocidos como condiciones de otros acontecimientos, puede producir el grave error de no tomarlos en cuenta como parte de la causa o de las consecuencias de algún acontecimiento sucedido en el proceso investigado, cuando en realidad sí lo sean. Entonces, la inferencia por residuo produce una conclusión menos precisa y, por consiguiente, plantea la exigencia de establecer otras inferencias, para profundizar la determinación lograda.

Como ejemplo de inferencia por residuo, tenemos las investigaciones que llevaron al descubrimiento de Neptuno, el octavo planeta mayor del sistema solar. Como es sabido, hacia el año de 1844 se habían venido advirtiendo discrepancias notables entre las posiciones observadas a través del telescopio y las ubicaciones correspondientes a la órbita calculada teóricamente para el séptimo planeta, Urano; cosa que no sucedía para los otros seis planetas mayores conocidos entonces. Tales discrepancias provocaron grandes discusiones entre los astrónomos. Por su parte, Leverrier se puso a revisar cuidadosamente los cálculos hechos, verificando así la existencia de perturbaciones en el movimiento real de Urano. Luego, calculó detalladamente las perturbaciones que sufre Urano en el recorrido de su trayectoria y que son causadas por las atracciones de los otros seis planetas. Como advirtió que, aún teniéndolas en cuenta, todavía quedaba una perturbación residual, llegó a la conclusión de que había otra causa, hasta entonces desconocida y ni siquiera sospechada, que era la que producía como efecto la perturbación restante. De esa manera, ejecutando una inferencia por residuo, llegó a la conclusión de que existía otra condición. Después, completó su investigación, formulando una hipótesis acerca de cual podría ser tal causa y de cómo explicaría la perturba-

ción, efectuando para ello una inferencia por analogía, que podemos expresar esquemáticamente así:

> Si las atracciones gravitatorias de los otros seis planetas mayores conocidos explican una parte de las perturbaciones que sufre Urano, entonces se puede suponer que el resto de las perturbaciones se produce a causa de la atracción gravitatoria ejercida por otro planeta hasta ahora desconocido.

Entonces, tomando como base esa hipótesis, Leverrier calculó la órbita del planeta cuya existencia postulaba y, a mediados de 1846, pidió a Galle que lo buscara con el telescopio, suministrándole los datos de la región del cielo en donde podría encontrarlo. Como es bastante conocido, Galle encontró efectivamente el nuevo planeta, al que más tarde se le dio el nombre de Neptuno, en menos de una hora de búsqueda con el telescopio, debido a la gran precisión de los datos calculados por Leverrier.

Para descubrir el tipo de relación existente entre una condición y un acontecimiento, hace falta avanzar a la fase cuantitativa. Esa precisión se consigue mediante la ejecución de una *inferencia por variaciones concomitantes*. Su fundamento se encuentra en la variación paralela y recíproca entre la condición y el acontecimiento, con base en un corolario de la ley de causalidad, según el cual los cambics que sufre la causa se reflejan como cambios correspondientes en el efecto, y viceversa. Entonces, lo que se provoca es la variación de las condiciones determinadas, de todas las maneras posibles, observando las variaciones que se producen en los acontecimientos condicionados, ya sea en el mismo sentido de las condiciones o en sentido inverso. Desde luego, la inferencia por variaciones concomitantes se puede aplicar tanto para indagar la causa, partiendo de su efecto, como para determinar el efecto de una causa conocida. Por otra parte, las inferencias por variaciones concomitantes hacen posible el descubrimiento de relaciones de causalidad que persisten siempre; de tal modo que únicamente se puede aumentar o disminuir su intensidad. Además, la inferencia por concomitancia de las variaciones sirve también para descubrir los puntos críticos de variación cuantitativa de las condiciones, en los cuales se producen transformaciones cualitativas en las consecuencias; y, recíprocamente, los puntos nodales de variación cualitativa de las condiciones, que señalan conversiones cuantitativas en los acontecimientos resultantes. En consecuencia, la concomitancia de las variaciones constituye la forma más elevada de la inferencia inductiva y su reiteración produce el avance en la precisión de la relación determinada, tanto en amplitud como en profundidad.

Un ejemplo de inferencia por variaciones concomitantes lo tenemos en las conclusiones que se han establecido acerca de la correlación entre las ráfagas que se producen en el Sol y ciertas perturbaciones que ocurren en la Tierra. En efecto, conjugando las observaciones astronómicas con las investigaciones geofísicas, se ha descubierto que, en el momento en que vemos encenderse una ráfaga en el Sol, se producen simultáneamente en la Tierra varios acontecimientos, como son: 1) una perturbación abrupta en los registros de las estaciones magnéticas; 2) un decaimiento de las ondas cortas de radio; .) un acrecentamiento repentino de las perturbaciones eléctricas en la atmósfera; 4) una anomalía de fase repentina en las ondas largas de radio; y, 5) una anomalía también repentina en los ruidos cósmicos. Por otra parte, después de que han transcurrido entre

20 y 40 horas de la aparición de la ráfaga solar, se producen en la Tierra las grandes tempestades magnéticas llamadas auroras, que ocurren en ambas regiones polares y, excepcionalmente, se extienden hasta el ecuador. Pues bien, con base en los resultados de esas observaciones, se ha podido inferir, por las variaciones concomitantes respectivas en la intensidad de la ráfaga solar y los acontecimientos terrestres, que las perturbaciones producidas simultáneamente son causadas por la radiación emitida por el Sol al producirse la ráfaga, ya que todas las ondas de radiación viajan a la velocidad de la luz y alcanzan la Tierra en el mismo momento, al cabo de unos ocho minutos y medio, coincidiendo con el instante en que nosotros vemos aparecer la ráfaga desde la Tierra. En cambio, las auroras boreales y australes son producidas por las partículas elementales que también son emitidas al producirse la ráfaga, pero que viajan a una velocidad mucho menor que la de la luz y, por eso, tardan entre 20 y 40 horas, en promedio, en llegar a la Tierra.

La mera repetición de casos en los cuales se verifique de un modo determinado un acontecimiento, no siempre constituye una buena base para establecer una inferencia; porque las verificaciones así efectuadas se refieren solamente a una parte de los casos posibles. En cambio, cuando se logra obtener una muestra inalterada del conjunto de procesos estudiado, entonces se puede establecer una generalización válida partiendo de un subconjunto reducido. En tal caso, la muestra se comporta exactamente igual que el conjunto entero y, por ello, es representativa de las propiedades del conjunto. En esas condiciones se puede ejecutar una *inferencia por muestreo,* cuya conclusión es extendida al conjunto en toda su amplitud. La inferencia por muestreo es una inducción amplificadora en la cual se selecciona el grupo de casos que sirve de base, de tal manera que sea una muestra típica del conjunto. Así, las relaciones que se cumplen en el subconjunto constituido por la muestra, se consideran por analogía como propiedades del conjunto entero. Como es fácil advertir, el principal problema consiste en descubrir, en cada caso, la manera de obtener una muestra que efectivamente se mantenga inalterada al quedar segregada del conjunto. Y, en general, esa característica de la muestra tendrá que apoyarse, como toda operación inductiva, en un cierto grado de probabilidad.

Por ejemplo, para poder estimar el número de árboles que pueden ser derribados en un bosque, durante una temporada de cortes, lo que hace el técnico forestal es contar directamente los árboles que hay en varias parcelas reducidas, con superficie y densidad de árboles determinados, que se encuentran distribuidos convenientemente en el bosque en cuestión. Luego, considera que la población forestal es homogénea en el bosque entero, para concluir finalmente que el número de árboles que se pueden cortar en todo el bosque, es proporcional al número de árboles señalados y contados directamente en las parcelas seleccionadas. En ese caso, la muestra representativa está constituida por dichas parcelas, cuyo establecimiento se habrá procurado hacer al azar. Cuando no se tienen indicios de que un conjunto sea heterogéneo, entonces la manera de establecer la muestra seleccionando al azar un subconjunto, resulta ser eficaz para determinar una muestra representativa. Y, tanto mejor, si ese subconjunto se hace constar de partes igualmente escogidas al azar. Pero, cuando el conjunto no es homogéneo, entonces se requiere emplear otros procedimientos para determinar la muestra.

Los datos estadísticos y las operaciones que se ejecutan con ellos, representan determinaciones cuantitativas acerca de clases o conjuntos, pero no respecto a sus elementos considerados individualmente. Con los datos estadísticos obtenidos y clasificados, se pueden hacer inferencias inductivas por enumeración completa o por muestreo, según que dichos datos se refieran a la clase entera o solamente a una muestra representativa. La *inferencia estadística* se funda en la regularidad de los grupos estudiados estadísticamente y mediante la ejecución de las operaciones pertenecientes al cálculo de las probalidades. Dicha regularidad de las propiedades estadísticas se ha obtenido experimentalmente y puede ser verificada de la misma manera y en cualquier momento. Tales operaciones comprenden muchos conceptos, relaciones y transformaciones sobre las cuales no entraremos aquí en detalle. Con todo, es indispensable advertir que los resultados obtenidos mediante las inferencias estadísticas no representan las únicas conclusiones posibles acerca de los problemas investigados, independientemente de que pueda resultar impresionante el aparato matemático utilizado. En rigor, las transformaciones y reducciones estadísticas que se ejecutan, coadyuvan indudablemente, a veces de un modo considerable, a la interpretación y la comprensión de los datos manejados. Por lo tanto, las inferencias estadísticas son razonamientos importantes dentro de la actividad científica. Pero, el investigador debe procurar que el empleo de la estadística no se convierta en un mero automatismo, ya que entonces lo puede conducir fácilmente a resultados erróneos o absurdos. Aunque es claro que lo mismo le puede suceder cuando aplica maquinalmente cualquier otro procedimiento de investigación, en el caso de la utilización de la estadística es conveniente extremar las precauciones. Lo más importante es, sobre todo, que nunca se pretenda sustituir la inteligencia y la imaginación racional con las técnicas estadísticas o de otra índole; ni menos todavía, que en la interpretación de los resultados obtenidos, a través de la estadística o por otros medios, se confunda lo subjetivo con lo objetivo.

La *inferencia por inducción matemática* se realiza cuando es posible determinar las características de un elemento cualquiera de un cierto conjunto, para poner de manifiesto después que dicha determinación es repetible para cualquiera otro elemento del mismo conjunto. De esa manera, se establece con exactitud el elemento típico de un conjunto, determinando con precisión alguna de sus propiedades, o una operación con respecto a dicho elemento, para generalizar de inmediato dicha propiedad o tal operación a cualquiera otro elemento del mismo conjunto. Como se puede advertir, no se requiere que el conjunto se encuentre ordenado. Entonces, la inferencia por inducción matemática es una especie de refinamiento de la inferencia por muestreo, en donde la muestra está constituida por un solo elemento, que es completamente representativo del conjunto y, por ende, es su elemento típico. En otros casos, lo que se hace, lo cual viene a ser equivalente, es la determinación de las propiedades típicas de los elementos del conjunto, estableciendo con ellas el concepto de "elemento típico" abstracto, con el cual se opera de manera análoga. En otras ocasiones, lo que se hace es determinar la relación para uno de los elementos del conjunto y, luego, extender esa relación, de elemento en elemento y mediante una implicación rigurosa, hasta abarcar todos los elementos del conjunto. Este tipo de inferencia se emplea frecuentemente en la geometría.

Por ejemplo, se puede establecer una cierta propiedad con respecto a un triángulo cualquiera, el cual es dibujo con toda la arbitrariedad que resulte compatible con las condiciones impuestas por el problema indagado; esto es, que sea simplemente un triángulo, que sea rectángulo, que sea isóceles, que tenga sus tres ángulos agudos, etcétera. Pues bien, como el triángulo considerado es uno cualquiera de los elementos de la clase de triángulos en cuestión, entonces la propiedad que se desprenda al ejecutar la inferencia, no se referirá exclusivamente a la figura dibujada y utilizada concretamente, sino igualmente a todas las otras figuras que cumplan con las mismas condiciones y que, por lo tanto, pertenezcan a la misma clase de triángulos. En consecuencia, la propiedad se generaliza a la clase entera, mediante la conclusión de una inferencia por inducción matemática. Como ilustración, podemos considerar alguno de los teoremas que figuran en los *Elementos* de Euclides. Así tenemos el Teorema 1.48, que dice:

> Si en un triángulo, el cuadrado de uno de los lados es igual a los cuadrados de los restantes lados, el ángulo comprendido por esos dos lados restantes del triángulo, es recto.

En el texto euclidiano, dicho teorema se demuestra mediante una cadena de inferencias deductivas. Pero a la vez, dicha demostración, que es establecida para un triángulo cualquiera, se extiende por inducción matemática, hasta comprender a todos aquellos triángulos en los cuales el cuadrado de un lado, la hipotenusa, sea igual a la suma de los cuadrados de los dos lados restantes, los catetos, independientemente de las dimensiones de los lados y de la magnitud de sus otros dos ángulos.

La *inferencia por recursión* se ejecuta con respecto a un conjunto cuyos elementos constituyen una sucesión, o sea, que se encuentre ordenado. Entonces se muestra que la relación determinada para el primer elemento y para dos elementos sucesivos cualesquiera, se cumple igualmente para el conjunto entero. En rigor, la demostración de una propiedad para un elemento cualquiera del conjunto, implica la demostración para todos los elementos anteriores y, luego, al demostrarse que también se cumple para el elemento siguiente, queda desmostrado que dicha propiedad pertenece igualmente a todos los elementos del conjunto. Por consiguiente, en este caso, la conclusión se establece primero como hipótesis y, después de ejecutar las operaciones correspondientes, tal hipótesis queda demostrada. Las condiciones requeridas para la ejecución de este tipo de inferencia, son las siguientes:

1) que se trate de un conjunto ordenado, es decir, de un conjunto en el cual cada uno de sus elementos dependa de los otros;
2) que la propiedad se cumpla para el primer elemento del conjunto; y,
3) que el cumplimiento de esa misma propiedad para cualquiera otro elemento del conjunto, implique su cumplimiento para el elemento siguiente.

En esas condiciones, si una propiedad se cumple, por ejemplo, para el primero de los números naturales, o sea, para el número 1; y, además, al establecer su cumplimiento para otro número natural cualquiera n, se demuestra que igualmente se cumple para el número natural siguiente $(n + 1)$, entonces queda demostrado que esa propiedad se cumple para todo número natural.

Supongamos, entonces, que hemos advertido que la suma de los primeros números impares sucesivos es igual al cuadrado del número de sumandos, o sea, que:

$$1 = 1$$
$$1 + 3 = 4$$
$$1 + 3 + 5 = 9$$
$$\dots\dots\dots$$

En tal caso, podemos demostrar que dicha propiedad se cumple para el primer número impar, esto es, para 1:

$$1 = 1^2 = 1 .$$

Ahora bien, si suponemos que se cumple para cualquier valor de n, debemos demostrar que también se cumple para el valor siguiente, el correspondiente a $(n + 1)$. El número impar correspondiente a n es $(2n - 1)$; y el siguiente impar, correspondiente a $(n + 1)$, es $(2n + 1)$. Entonces, la expresión de la suma de los n primeros números impares, es:

$$1 + 3 + 5 \dots + (2n - 1) = n^2$$

Por su parte, la expresión de la suma de los $(n + 1)$ números impares, es:

$$1 + 3 + 5 + \dots + (2n - 1) + (2n + 1) = (n + 1)^2 .$$

Pues bien, si a la primera expresión:

$$1 + 3 + 5 + \dots + (2n - 1) = n^2 ,$$

le agregamos a los dos miembros de la ecuación el sumando $(2n + 1)$, realizamos una operación con la cual no se alterará, quedando:

$$1 + 3 + 5 + \dots + (2n - 1) (2n + 1) = n^2 + (2n + 1),$$

en donde se advierte de inmediato que el primer miembro es indéntico al primer miembro de la ecuación que expresa la suma de los $(n + 1)$ primeros impares. Tampoco es muy difícil darse cuenta de que el segundo miembro:

$$n^2 + (2n + 1),$$

no es otra cosa que el desarrollo del cuadrado de $(n + 1)$. Efectivamente, con sólo quitar el paréntesis, se muestra;

$$n^2 + 2n + 1 = (n + 1)^2;$$

por lo cual, podemos sustituirlo en la expresión anterior, quedando;

$$1 + 3 + 5 + \dots + (2n - 1) + (2n + 1) = (n + 1)^2,$$

que es idéntica a la expresión a la cual queríamos llegar y, por consiguiente, hemos demostrado que la propiedad se cumple igualmente para el elemento siguiente a n. De donde se concluye, por recursión, puesto que se cumplen las tres condiciones requeridas, que la propiedad es válida para todos los números impares. Por lo tanto, la suma de los primeros números impares, cualquiera que sea el número de éstos que consideremos, es igual al cuadrado del número de sumandos.

15. TRANSDUCCIÓN

La transducción es el razonamiento discursivo que permite extender las vinculaciones existentes entre los conocimientos adquiridos, utilizando el mismo tipo de relación y manteniéndola en un grado equivalente de generalidad o de particularidad. La inferencia transductiva está constituida por dos o más premisas y una conclusión. La ejecución de la inferencia transfiere la relación establecida entre el término medio, o los términos medios, y cada uno de los extremos, convirtiéndola en relación entre los términos extremos. En todo caso, la condición necesaria y suficiente para hacer posible un razonamiento transductivo es que la relación formulada en las premisas, y que es transladada a la conclusión, sea precisamente una relación gobernada por una ley de transitividad, ya sea la de transferencia o la de equiparación, o ambas. Por eso, la característica peculiar de la inferencia transductiva consiste en que las premisas y la conclusión son conjuntamente proposiciones particulares, o proposiciones universales indefinidas, o bien, proposiciones universales definidas. Las inferencias transductivas pueden ser de siete tipos:

1) inferencias por igualdad;
2) inferencias por simetría;
3) inferencias por isología;
4) inferencias por desigualdad;
5) inferencias por asimetría;
6) inferencias por homología; y
7) inferencias por analogía.

Los seis primeros números tipos se distinguen por la clase de relación que las premisas heredan, por decirlo así, a la conclusión. En cambio, en las inferencias por analogía, la transitividad se extiende hasta los elementos más heterogéneos, con tal que sean análogos, esto es, que exista una correspondencia biunívoca entre las relaciones de sus propiedades. Por la gran importancia que tienen y debido a sus características peculiares, las inferencias por analogía son tratadas por separado.

Las *inferencias por igualdad* se efectúan mediante la aplicación de las dos leyes de transitividad, por transferencia y por equiparación, las cuales se cumplen para la identidad, la igualdad, la congruencia, la proporción, la semejanza, la equivalencia y el analogismo. La primera de esas leyes, la de transitividad por transferencia, establece que:

> Cuando un concepto x es igual a otro concepto y, al mismo tiempo que este otro concepto y es igual a un tercer concepto z, entonces el primer concepto x es también igual al tercero z, o sea, simbólicamente:

Si: $x = y$,
a la vez que: $y = z$,
entonces: $x = z$.

Por ejemplo:

Si: El ángulo ABC es igual al ángulo EFG,
a la vez que: El ángulo EFG es igual al ángulo KLM,
entonces: El ángulo ABC es igual al ángulo KLM.

La ley de transitividad por transferencia tiene varias corolarios, como los siguientes:

I. Si: $x = y + a$,
a la vez que: $y = z - a$.
entonces: $x = z$.

II. Si: $x + a = y$,
a la vez que: $y - a = z$,
entonces: $x = z$.

III. Si: $x = ny$,
a la vez que: $y = \frac{z}{n}$,
entonces: $x = z$.

IV. Si: $nx = y$
a la vez que: $\frac{y}{n} = z$,
entonces: $x = z$.

Por ejemplo:

Si: El segmento *EF* es igual al segmento *RS* más el segmento JK,
a la vez que: El segmento *RS* es igual al segmento *OP* menos el segmento *JK*,
entonces: El segmento *EF* es igual al segmento *OP*.

Si: El ángulo *BDF* es igual al doble del ángulo *STR*,
a la vez que: El ángulo *STR* es igual a la mitad del ángulo *LMN*,
entonces: El ángulo *BDF* es igual al ángulo *LMN*.

La segunda ley de transitividad, por equiparación, establece que: Cuando dos conceptos x e y, son iguales respectivamente a un tercer concepto z, entonces dichos conceptos x e y son iguales entre sí, es decir, que:

Si: x = z,
a la vez que: y = z,
entonces: x = y.

Por ejemplo:

Si: El segmento *CE* es proporcional al segmento *GH*,
a la vez que: El segmento *JK* es proporcional al segmento *GH*,
entonces: El segmento *CE* es proporcional al segmento *JK*.

La ley de transitividad por equiparación tiene también algunos corolarios, como los que expresamos a continuación:

I. Si: x = z + a,
a la vez que: y = z + a,
entonces: x = y.

II. Si: x + a = z,
a la vez que: y + a = z.
entonces: x = y.

III. Si: x = nz,
a la vez que: y = nz,
entonces: x = y.

IV. Si: nx = z,
a la vez que: ny = z,
entonces: x = y.

Por ejemplo:

Si: El lado FG es igual al lado GH más el segmento FH,
a la vez que: El lado RS es igual al lado GH más el segmento FH,
entonces: El lado FG es igual al lado RS.

Si: El ángulo ABC es igual al triple del ángulo NOP,
a la vez que: El ángulo KLM es igual al triple del ángulo NOP,
entonces: El ángulo ABC es igual al ángulo KLM.

En las *inferencias por simetría* se aplican también las dos leyes de transitividad, por transferencia y por equiparación, correspondientes a la igualdad, lo mismo que a la identidad, la congruencia, la proporción, la semejanza, la equivalencia y el analogismo. Las premisas de que se parte son juicios universales definidos, los cuales son simétricos porque establecen una mutua implicación entre sus términos que, por ende, es equivalente en ambos sentidos. En efecto, recordemos que el juicio de reciprocidad está representado esquemáticamente por la fórmula:

Si es *x*, entonces es *y*, y viceversa; y, si no es *x*, entonces no es *y*, y viceversa.

En forma simbólica, tenemos:

$$x \longleftrightarrow y, \ \bar{x} \longleftrightarrow \bar{y}.$$

Por su parte, el juicio de exclusión se expresa mediante la fórmula siguiente:

Si es *x*, entonces no es *y*, y viceversa; y, si no es *x*, entonces es *y*, y viceversa.

En forma simbólica, tenemos:

$$x \longleftrightarrow \bar{y}, \ \bar{x} \longleftrightarrow y.$$

Entonces, aplicando las dos leyes de transitividad a dos proposiciones universales definidas, en calidad de premisas, obtenemos tres formas de inferencia por simetría, una de ellas con dos modos. Dichas formas coinciden con las del primer tipo de la inferencia categórica.

La primera forma está constituida por dos juicios de reciprocidad como premisas y otro juicio de reciprocidad como conclusión. En tal caso, la transitividad de sus implicaciones mutuas es la siguiente:

Si: $x \longleftrightarrow y, \bar{x} \longleftrightarrow \bar{y};$

a la vez que: $y \longleftrightarrow z, \bar{y} \longleftrightarrow \bar{z};$

entonces: $x \longleftrightarrow y \longleftrightarrow z, \bar{x} \longleftrightarrow \bar{y} \longleftrightarrow \bar{z};$

luego: $x \longleftrightarrow z, \bar{x} \longleftrightarrow \bar{z}.$

Ejemplo:

Premisa: Un sistema de ecuaciones simultáneas es resoluble si, y sólo si, es independiente, consistente y completo.

Premisa: Un sistema de ecuaciones simultáneas es independiente, consistente y completo si, y sólo si, el determinante del sistema no es nulo.

Conclusión: Un sistema de ecuaciones simultáneas es resoluble si, y sólo si, el determinante del sistema no es nulo.

La segunda forma consta de un juicio de reciprocidad y un juicio de exclusión como premisas, de los cuales se infiere transductivamente un juicio de exclusión como conclusión. Admite la variante que resulta del intercambio de las premisas, un juicio de exclusión y uno de reciprocidad, que constituye otro modo de la misma forma. La transitividad de las implicaciones recíprocas es la que sigue:

Si: $x \longleftrightarrow y, \ \bar{x} \longleftrightarrow \bar{y};$

a la vez que: $y \longleftrightarrow \bar{z}, \ \bar{y} \longleftrightarrow z;$

entonces: $x \longleftrightarrow y \longleftrightarrow \bar{z}, \ \bar{x} \longleftrightarrow \bar{y} \longleftrightarrow z;$

luego: $x \longleftrightarrow \bar{z}, \ \bar{x} \longleftrightarrow z.$

Ejemplo:

Premisa: Un concepto es científico si, y sólo si, es explicativo, objetivo y racional.

Premisa: Un concepto es explicativo, objetivo y racional si, y sólo si, no es metafísico.
Conclusión: Un concepto es científico si, y sólo si, no es metafísico.

La tercera forma está integrada por dos juicios de exclusión como premisas y un juicio de reciprocidad como conclusión. La transitividad se cumple entonces de la siguiente manera:

Si: $x \longleftrightarrow \bar{y},\ \bar{x} \longleftrightarrow y$;
a la vez que: $y \longleftrightarrow \bar{z},\ \bar{y} \longleftrightarrow z$;
entonces: $x \longleftrightarrow \bar{y} \longleftrightarrow z,\ \bar{x} \longleftrightarrow y \longleftrightarrow \bar{z}$;
luego: $x \longleftrightarrow z,\ \bar{x} \longleftrightarrow \bar{z}$.

Ejemplo:

Premisa: Una curva plana es abierta si, y sólo si, no es cerrada.
Premisa: Una curva divide al plano en una parte interior y otra exterior cuando, y solamente cuando, no es abierta.
Conclusión: Una curva divide al plano en una parte interior y otra exterior cuando, y solamente cuando, es cerrada.

Las *inferencias por isología* son aquellas que transfieren a la conclusión la relación establecida en las premisas, con tal que dicha relación sea análoga a la igualdad. Desde luego, para que se pueda efectuar una transducción por isología, es indispensable que la relación en cuestión cumpla con las dos leyes de transitividad. Entonces, antes de intentar la ejecución de una inferencia de este tipo, es necesario comprobar que la relación cumple efectivamente con la transitividad, tanto por transferencia como por equiparación. Entre las relaciones que cumplen con las dos condiciones señaladas tenemos, además de la igualdad, las siguientes: identidad, congruencia, proporcionalidad, semejanza (en sentido geométrico), equivalencia, analogismo, simultáneo, homólogo (en sentido geométrico), compatriota, isomorfo, cabe, junto, correligionario, hermano (solamente cuando se refiere al parentesco genérico y está limitado a los hermanos de padre y madre), colega, similar, análogo, coeficiente, coetáneo, paralelo, colineal (con respecto a segmentos), coplanar (con respecto a figuras planas), coexistente, coincidente, coterráneo, coaxial, concéntrico, paisano, compatrono, consiervo, concomitante, concurrente, coevo, conmensurable, etcétera.

Ejemplos:

Premisa: El plano *BCD* es paralelo al plano *FGH*.
Premisa: El plano *QVW* es paralelo al plano *FGH*.
Conclusión: El plano *BCD* es paralelo al plano *QVW*.

Premisa: La excitación de un átomo es simultánea con la absorción de la correspondiente energía de resonancia por parte del mismo átomo.
Premisa: El salto cuántico de un electrón, de una órbita a otra, es simultáneo a la absorción de la energía de resonancia por parte del átomo.

Conclusión: El salto cuántico de un electrón, de una órbita a otra, es simultáneo a la excitación del átomo.

Premisa: Rulfo es coetáneo de Arreola.
Premisa: Chumacero es coetáneo de Arreola.
Conclusión: Rulfo es coetáneo de Chumacero.

En las *inferencias por desigualdad* solamente se cumple la ley de transitividad por transferencia; y, por lo tanto, no se cumple la ley de transitividad por equiparación. Por consiguiente, si se tiene que x es mayor que y, al propio tiempo que y es mayor que z, entonces se concluye por transducción que x es mayor que z, o sea, simbólicamente:

Si: $x > y$,
a la vez que: $y > z$,
entonces: $x > z$.

Ahora bien, la ley de transitividad por transferencia se cumple en los dos sentidos de la desigualdad, de tal manera que también es válido que, si x es menor que y, a la vez que y es menor que z, entonces resulta como conclusión necesaria que x es menor que z; es decir, expresándolo simbólicamente, que:

Si: $x < y$,
a la vez que: $y < z$,
entonces: $x < z$.

Pero, cuando se tiene que x es mayor que y, al mismo tiempo que z es mayor que y, entonces queda indeterminado el saber si x es mayor que z, o bien, si z es mayor que x. Y lo mismo sucede cuando se tiene que x es menor que y, a la vez que z es menor que y, puesto que tampoco se puede saber entonces si x es mayor o menor que z. Por otra parte, debido a la asimetría de la desigualdad, cuando se tiene que x es mayor que y, al propio tiempo que y es menor que z, o viceversa, entonces no es posible efectuar una traducción que sea concluyente.

En cambio, la combinación de una desigualdad con una igualdad sí permite transferir la relación de desigualdad como conclusión de una inferencia transductiva. De esa manera se constiyen otras cuatro formas de transducción por desigualdad, que son las que siguen:

Si: $x > y$,
a la vez que: $y = z$,
entonces: $x > z$.

Si: $x < y$,
a la vez que: $y = z$,
entonces: $x < z$.

Si: $x = y$,
a la vez que: $y > z$,
entonces: $x > z$.

Si: $x = y$,
a la vez que: $y < z$,
entonces: $x < z$.

Ejemplos:

Premisa: La población de Salamanca es menor que la de León.
Premisa: La población de León es menor que la de Guadalajara.
Conclusión: La población de Salamanca es menor que la de Guadalajara.

Premisa: El segmento *JK* es igual al segmento *ST*.
Premisa: El segmento *ST* es mayor que el segmento *RS*.
Conclusión: El segmento *JK* es mayor que el segmento *RS*.

En las *inferencias por asimetría* se aplica también la ley de transitividad por transferencia, correspondiente a la desigualdad. Los juicios que sirven como premisas son los universales indefinidos que, como ya lo hemos visto, representan una doble implicación entre sus términos, sólo que ésta no es recíproca. En efecto, el juicio de inclusión, cuya fórmula es:

Si no es *x*, entonces es *y*; y, si no es *y*, entonces es *x*, se representa simbólicamente así:

$$\bar{x} \rightarrow y, \quad \bar{y} \rightarrow x.$$

El juicio de implicación, que tiene la fórmula:

Si es *x*, entonces es *y*; y, si no es *y*, entonces no es *x*, se representa simbólicamente de este modo:

$$x \rightarrow y, \quad \bar{y} \rightarrow \bar{x}.$$

El juicio de implicación inversa tiene la fórmula:

Si es *y*, entonces es *x*; y, si no es *x*, entonces no es *y*, y está representado por:

$$y \rightarrow x, \quad \bar{x} \rightarrow \bar{y}.$$

Y el juicio de incompatibilidad, con la fórmula:

Si es *x*, entonces no es *y*; y, si es *y*, entonces no es *x*, se expresa simbólicamente así:

$$x \rightarrow \bar{y}, \quad y \rightarrow \bar{x}.$$

Por lo tanto, al aplicar la ley de transitividad por transferencia a los juicios universales indefinidos, utilizándolos como premisas, se obtienen cuatro formas de inferencia por asimetría. Debido al intercambio que se puede hacer entre sus premisas, cada forma tiene dos modos. Las inferen-

cias por asimetría coinciden con el cuarto tipo de las inferencias categóricas.

La primera forma está integrada por un juicio de inclusión y uno de implicación como premisas (o por un juicio de implicación inversa y uno de inclusión), de los cuales se infiere por transducción un juicio de inclusión como conclusión. La transitividad por transferencia se realiza entonces de la siguiente manera:

Si: $\bar{x} \to y, \quad \bar{y} \to x;$
a la vez que: $y \to z, \quad \bar{z} \to \bar{y};$
entonces: $\bar{x} \to y \to z, \quad \bar{z} \to \bar{y} \to x;$
luego: $\bar{x} \to z, \quad \bar{z} \to x.$

Ejemplo:

Premisa: Si un vertebrado no tiene pulmones, entonces tiene branquias.
Premisa: Si un vertebrado tiene branquias, entonces es acuático.
Conclusión: Si un vertebrado no tiene pulmones, entonces es acuático.

La segunda forma tiene como premisas un juicio de inclusión y uno de incompatibilidad (o un juicio de incompatibilidad y uno de inclusión), de los cuales resulta por transducción un juicio de implicación inversa (o un juicio de implicación). En este caso, el cumplimiento de la transitividad se realiza así:

Si: $\bar{x} \to y, \quad \bar{y} \to x;$
a la vez que: $y \to \bar{z}, \quad z \to \bar{y};$
entonces: $\bar{x} \to y \to \bar{z}, \quad z \to \bar{y} \to x;$
luego: $\bar{x} \to \bar{z}, \quad z \to x.$

Ejemplo:

Premisa: Si un vertebrado no tiene branquias, entonces tiene pulmones.
Premisa: Si un vertebrado tiene branquias, entonces no es terrestre.
Conclusión: Si un vertebrado es terrestre, entonces tiene pulmones.

La tercera forma está constituida por dos juicios de implicación (o dos juicios de implicación inversa) como premisas, de los cuales se obtiene como conclusión un juicio de implicación (o uno de implicación inversa). Entonces, la transitividad transferida por sus respectivas implicaciones, es la siguiente:

Si: $x \to y, \quad \bar{y} \to \bar{x};$
a la vez que: $y \to z, \quad \bar{z} \to \bar{y};$
entonces: $x \to y \to z, \quad \bar{z} \to \bar{y} \to \bar{x};$
luego: $x \to z, \quad \bar{z} \to \bar{x}.$

Ejemplo:

Premisa: Todo acontecimiento social está condicionado por el desarrollo económico.
Premisa: Todo avance científico es un acontecimiento social.
Conclusión: Todo avance científico está condicionado por el desarrollo económico.

La cuarta forma está compuesta por un juicio de implicación y uno de incompatibilidad (o uno de incompatibilidad y uno de implicación) como premisas, de los cuales se transduce como conclusión un juicio de incompatibilidad, tal como se muestra a continuación:

Si: $x \rightarrow y, \quad \bar{y} \rightarrow \bar{x};$
a la vez que: $y \rightarrow \bar{z}, \quad z \rightarrow \bar{y};$
entonces: $x \rightarrow y \rightarrow \bar{z}, \quad z \rightarrow \bar{y} \rightarrow \bar{x};$
luego: $x \rightarrow \bar{z}, \quad z \rightarrow \bar{x}.$

Ejemplo:

Premisa: Toda práctica médica se basa en la biología.
Premisa: Ninguna aplicación de la biología es práctica mágica.
Conclusión: Ninguna práctica mágica sirve de base a una práctica médica.

Cuando se agrega otra premisa a una inferencia por asimetría, resulta que cada uno de los modos anteriores produce otros dos; ya que la premisa agregada únicamente puede ser de dos clases, las cuales están determinadas en cada caso por las premisas anteriores. De esa manera, con tres premisas resultan 16 modos, con cuatro premisas se tienen 32 modos y, así, sucesivamente. Entre los casos interesantes de inferencias por asimetría con tres premisas, tenemos el siguiente:

Si: $\bar{y} \rightarrow \bar{x}, \quad x \rightarrow y;$
a la vez que: $s \rightarrow z, \quad \bar{z} \rightarrow \bar{s};$
y también que: $\bar{x} \rightarrow s, \quad \bar{s} \rightarrow x;$
entonces: $\bar{y} \rightarrow \bar{x} \rightarrow s \rightarrow z;$
$\bar{z} \rightarrow \bar{s} \rightarrow x \rightarrow y;$
luego: $\bar{y} \rightarrow z, \quad \bar{z} \rightarrow y.$

Ejemplo:

Premisa: Si un polígono es equiángulo, entonces es convexo.
Premisa: Si un polígono es irregular, entonces es incircunscrible.
Premisa: Si un polígono no es equiángulo, entonces es irregular.
Conclusión: Si un polígono no es convexo, entonces es incircunscribible.

También esta otra inferencia por asimetría con tres premisas, resulta interesante:

$$
\begin{array}{rll}
\text{Si:} & x \rightarrow y, & \overline{y} \rightarrow \overline{x}; \\
\text{a la vez que:} & \overline{z} \rightarrow \overline{s}, & s \rightarrow z; \\
\text{y también que:} & y \rightarrow \overline{z}, & z \rightarrow \overline{y}; \\
\text{entonces:} & x \rightarrow y \rightarrow \overline{z} \rightarrow \overline{s}; & \\
 & s \rightarrow z \rightarrow \overline{y} \rightarrow \overline{x}; & \\
\text{luego:} & x \rightarrow \overline{s}, & s \rightarrow \overline{x}.
\end{array}
$$

Ejemplo:

Premisa: Si un polígono es cóncavo, entonces es escaleno.
Premisa: Si un polígono es inscribible, entonces es regular.
Premisa: Si un polígono es escaleno, entonces no es regular.
Conclusión: Si un polígono es cóncavo, entonces no es inscribible.

Las *inferencias por homología* son aquellas en las cuales se transfiere a la conclusión una relación establecida en las premisas, que sea análoga a la desigualdad. Por supuesto, para que se pueda ejecutar una transducción por homología, es indispensable que la relación en cuestión cumpla con la ley de transitividad por transferencia. Ahora bien, además de la desigualdad, existen muchas relaciones que satisfacen esa exigencia, entre las cuales podemos mencionar a las que siguen: implicación, anterioridad, posterioridad, descendencia, ascendencia, asimetría, antecedente, consecuente, arriba, abajo, adelante, atrás, derecha, izquierda, oriente, poniente, norte, sur, causa, efecto, subordinación, pertenencia, dependencia, debajo, encima, interior, exterior, ante, bajo, tras, sobre, inferior, superior, entre, compatibilidad, comprometido, concordante, discordante, correlación, incompatible, inclusión, homomorfo, subconjunto, dentro, fuera, sucesor, antecesor, codelincuente, coagente, coadyuvante, coheredar, coligante, colocutor, comparte, confluyente, convivencia, etcétera. En todo caso, lo que se debe tener siempre en cuenta es que se trata de relaciones asimétricas y, por ende, que no son recíprocas; de tal manera que si un cierto lugar se encuentra situado al sur de otro lugar, entonces éste no se encuentra ubicado al sur del primero. Como ejemplos, tenemos los que siguen:

Premisa: El punto R está entre el punto S y el punto T.
Premisa: El punto S está entre el punto N y el punto R.
Conclusión: El punto R está entre el punto N y el punto T.

Premisa: Lagrange fue anterior a Riemann.
Premisa: Riemann fue anterior a Poincaré.
Conclusión: Lagrange fue anterior a Poincaré.

Premisa: Viena se encuentra al oriente de París.
Premisa: Bucarest se encuentra al oriente de Viena.
Conclusión: Bucarest se encuentra al oriente de París.

También existen varias relaciones de comparación que son análogas a la desigualdad y que, por lo tanto, admiten la ejecución de inferencias transductivas por asimetría. Se trata de las relaciones que se expresan mediante los adverbios comparativos "más" y "menos", ya sea solos, o bien, matizándolos al ir acompañados de un adverbio de cantidad, como "algo", "mucho"

o "poco", el cual puede ser usado, inclusive, en aumentativo o en diminutivo. Por ejemplo:

Premisa: El agua en el recipiente *T* está algo más caliente que el agua en el recipiente *Y*.
Premisa: El agua en el recipiente *Y* se encuentra mucho más caliente que el agua en el recipiente *U*.
Conclusión: El agua en el recipiente *T* está más caliente que el agua en el recipiente *U*.

Premisa: La hipótesis de Fernández es un poco más plausible que la hipótesis de Alvarez.
Premisa: La hipótesis de Alvarez es bastante más plausible que la hipótesis de Rodríguez.
Conclusión: La hipótesis de Fernández es bastante más plausible que la hipótesis de Rodríguez.

Premisa: La coloración de hoy es un poco menos intensa que la coloración de ayer.
Premisa: La coloración de ayer fue algo menos intensa que la coloración de anteayer.
Conclusión: La coloración de hoy es un poco menos intensa que la coloración de anteayer.

Para esclarecer las coincidencias y las diferencias entre las relaciones simétricas y las asimétricas, examinaremos el caso siguiente. Supongamos el grupo de nueve personas que figuran en la relación que establecemos a continuación:

1) Manuel López Pérez,
2) Daniel López Pérez,
3) Samuel López Pérez,
4) Miguel Núñez Pérez,
5) Ismael Núñez Pérez,
6) Rafael Núñez Pérez,
7) Gabriel Núñez Gómez,
8) Leonel Núñez Gómez, y
9) Abel Núñez Gómez.

Pues bien, los tres primeros son hermanos de padre y madre entre ellos y, además, son hermanos maternos con el cuarto, el quinto y el sexto. También son hermanos carnales entre ellos el cuarto, el quinto y el sexto y, además, son hermanos paternos con los tres últimos. Los tres últimos también son hermanos de padre y madre entre ellos. Entonces, aplicando la ley de transitividad por transferencia, podemos advertir que se cumple, por ejemplo, en los siguientes casos:

Premisa: Manuel López Pérez es hermano de Daniel López Pérez.
Premisa: Daniel López Pérez es hermano de Samuel López Pérez.
Conclusión: Manuel López Pérez es hermano de Samuel López Pérez.

Premisa: Samuel López Pérez es hermano de Miguel Núñez Pérez.
Premisa: Daniel López Pérez es hermano de Miguel Núñez Pérez.
Conclusión: Samuel López Pérez es hermano de Miguel Núñez Pérez.

Premisa: Ismael Núñez Pérez es hermano de Gabriel Núñez Gómez.
Premisa: Gabriel Núñez Gómez es hermano de Leonel Núñez Gómez.
Conclusión: Ismael Núñez Pérez es hermano de Leonel Núñez Gómez.

Pero, en cambio, la ley de transitividad por transferencia no se cumple en otros casos, como por ejemplo en el siguiente:

Premisa: Manuel López Pérez es hermano de Rafael Núñez Pérez.
Premisa: Rafael Núñez Pérez es hermano de Abel Núñez Gómez.
Conclusión: Manuel López Pérez es hermano de Abel Núñez Gómez (*falsa*).

En cuanto a la ley de transitividad por equiparación, ésta se cumple en casos como los de los ejemplos siguientes:

Premisa: Abel Núñez Gómez es hermano de Leonel Núñez Gómez.
Premisa: Gabriel Núñez Gómez es hermano de Leonel Núñez Gómez.
Conclusión: Abel Núñez Gómez es hermano de Gabriel Núñez Gómez.

Premisa: Ismael Núñez Pérez es hermano de Rafael Núñez Pérez.
Premisa: Leonel Núñez Gómez es hermano de Rafael Núñez Pérez.
Conclusión: Ismael Núñez Pérez es hermano de Leonel Núñez Gómez.

Premisa: Miguel Núñez Pérez es hermano de Gabriel Núñez Gómez.
Premisa: Abel Núñez Gómez es hermano de Gabriel Núñez Gómez.
Conclusión: Miguel Núñez Pérez es hermano de Abel Núñez Gómez.

Sin embargo, la ley de transitividad por equiparación no tiene cumplimiento en otros casos, como el siguiente:

Premisa: Abel Núñez Gómez es hermano de Ismael Núñez Pérez.
Premisa: Daniel López Pérez es hermano de Ismael Núñez Pérez.
Conclusión: Abel Núñez Gómez es hermano de Daniel López Pérez (*falsa*).

Para terminar, debemos decir que, incluso en aquellos casos en que no se cumplen las leyes de transitividad y en los que, por ende, no se pueden ejecutar inferencias transductivas por simetría o por asimetría, no obstante, a veces puede resultar útil el intento de ejecutarlas; porque el solo hecho de descubrir que conduce a resultados falsos, constituye el primer paso para intentar entonces la solución del problema por otro camino.

16. ANALOGÍA

La analogía es una de las maneras más comunes y corrientes de discurrir y, tal vez, la más útil. La analogía forma parte de todas nuestras maneras de pensar. Lo mismo en las conversaciones cotidianas, que al expresar nuestros sentimientos, al comunicar las emociones y al dar curso libre a nuestras reflexiones, nos servimos continuamente de razonamientos por analogía. También en la creación artística y en la actividad científica utilizamos una gran variedad de analogías de diferentes tipos: simples o complejas, vagas o precisas, obvias u ocultas, directas, o indirectas, oscuras o transparentes. Las imágenes, las ordenaciones, las trasposiciones y, en particular, la ejecución de inferencias por analogía, nos permiten establecer representaciones comprensibles, formular pautas de actividades posibles y construir esquemas explicativos. Los procedimientos analógicos son muy fecundos para inventar hipótesis plausibles, que luego sometemos a la prueba de la experiencia, o bien, fundamentamos mediante razonamientos estrictos de otro tipo. Por otra parte, la habilidad para descubrir analogías en los procesos existentes y en sus representaciones mentales, es sumamente valiosa para desarrollar la imaginación racional y para hacer avanzar el conocimiento científico. Además, debido a que una analogía nunca ocurre aisladamente, sino que está asociada con otras analogías, resulta que la determinación de relaciones análogas entre las propiedades de los elementos de ciertos conjuntos, o entre acontecimientos escasamente estudiados, puede conducir a la formulación de conjeturas importantes. En fin, en muchos casos, el hallazgo de las analogías existentes en un dominio determinado, puede constituir la primera de las etapas que se recorran en el camino que lleva al descubrimiento de lo desconocido, partiendo de algo conocido que sea análogo.

La inferencia por analogía es una transducción mediante la cual una cierta relación se transfiere de una clase de objetos a otra clase diferente, de tal manera que la conclusión viene a ser la transferencia efectuada. Sin embargo, se trata de una transducción peculiar, puesto que lo que se transfiere es una relación entre propiedades y no una propiedad, como sucede en las otras inferencias transductivas. Para ejecutar correctamente una inferencia por analogía, es indispensable que se trate de conjuntos análogos, independientemente de que los elementos de dichos conjuntos sean similares o no lo sean. Como se sabe, son elementos similares aquellos que concuerdan en algunas de sus propiedades. En cambio, los elementos análogos son aquellos que se corresponden en determinadas relaciones entre sus propiedades respectivas, aun cuando dichas propiedades sean enteramente diferentes. Dicho más rigurosamente, dos conjuntos son análogos cuando se puede establecer una correspondencia biunívoca entre las relaciones de las

propiedades de los elementos de un conjunto, con respecto a las relaciones de las propiedades de los elementos del otro conjunto. Como debemos recordar, la correspondencia biunívoca consiste en que cada relación del primer conjunto, y solamente esa, corresponde con una relación del otro conjunto, y únicamente con ella; y, por supuesto, recíprocamente. Así por ejemplo, una red telegráfica es análoga al sistema nervioso de un organismo, justamente porque las relaciones entre las propiedades de la red telegráfica y el territorio que comunican, se pueden hacer corresponder biunívocamente con las relaciones existentes entre las propiedades del sistema nervioso y el organismo vivo al que pertenece, no obstante las diferencias obvias entre las propiedades que intervienen en esas relaciones. También son análogos los órganos integrantes de organismos diferentes, que tienen la misma posición y las mismas vinculaciones, como ocurre con las alas de las aves y los miembros anteriores de los mamíferos. Igualmente, son análogos aquellos órganos que realizan la misma función en distintos organismos, aunque no tengan las mismas características anatómicas ni fisiológicas, como sucede con los pulmones de las aves y las branquias de los peces.

En su forma elemental y originaria, la inferencia por analogía es un razonamiento rigurosamente matemático, que consiste en determinar el cuarto término de una proporción, cuando se conocen los otros tres términos. Como es sabido, se denomina razón a cualquiera relación entre dos magnitudes del mismo género; y se llaman proporcionales a las magnitudes que tienen la misma razón. Por lo tanto, si tenemos establecida la proporción:

$$\frac{A}{B} = \frac{C}{D},$$

entonces la inferencia por analogía es el razonamiento que lleva a encontrar el valor de uno de los términos, D por ejemplo, cuando se conocen los valores de A, B y C. Ahora bien, puesto que se conoce la razón entre A y B y, además, se sabe que equivale a la razón entre C y D, podemos hacer explícita la expresión para D multiplicando primero por BD:

$$AD = BC,$$

y dividiendo luego entre A, con lo cual resulta:

$$D = \frac{BC}{A}.$$

En adelante, vamos a representar la analogía con el símbolo de la proporción : :, de tal manera que la analogía entre la razón $\frac{A}{B}$ y la razón $\frac{C}{D}$, quedará expresada si:

$$\frac{A}{B} :: \frac{C}{D}.$$

Por supuesto, cuando se trata de cantidades, resulta la proporción típica:

$$\frac{2}{3} :: \frac{6}{9}.$$

Existe una multitud de relaciones entre propiedades que pueden ser análogas, sin que se trate necesariamente de propiedades matemáticas. Igual-

mente, se pueden establecer analogías con base en una concordancia cualitativa de relaciones, aun cuando no se tenga una proporción cuantitativa de relaciones, aun cuando no se tenga una proporción cuantitativa entre ellas. En ese sentido, podemos mencionar como ejemplo una de las analogías establecidas por Aristóteles:

$$\frac{\text{pulmones}}{\text{aire}} :: \frac{\text{branquias}}{\text{agua}}$$

Igualmente, podemos presentar la analogía establecida por Arquímides, de la cual se sirvió para determinar el área de la esfera:

$$\frac{\text{área del círculo}}{\text{perímetro del círculo}} :: \frac{\text{volumen de la esfera}}{\text{superficie de la esfera}}$$

También tenemos una analogía de la biología actual:

$$\frac{\text{zarcillos}}{\text{vides}} :: \frac{\text{ojos}}{\text{calamares}}$$

Pasamos ahora a dar un ejemplo de la forma de inferencia por analogía que se puede establecer, con base en la proporcionalidad, que es el siguiente:

Premisa: Los cuadriláteros *ABCD* y *EFGH* son semejantes (y, por lo tanto, sus ángulos son iguales y sus lados son respectivamente proporcionales).
Premisa: El lado AB del cuadrilátero *ABCD* mide 9 unidades y el lado *EF* que es su correspondiente en el cuadrilátero *EFGH* mide 3 unidades (de tal manera que, la razón entre *AB* y *EF* es 3).
Premisa: El lado *BC* del cuadrilátero *ABCD* mide 12 unidades.
Conclusión: El lado *FG*, correspondiente a *BC* en el cuadrilátero *EFGH*, mide 4 unidades (puesto que *BC* y *FG* se encuentran en la misma razón que *AB* y *EF* o sea, 3).

En su significación general, la inferencia por analogía parte de una relación entre ciertas propiedades de una clase de objetos, que corresponde a otra relación (la cual puede ser igual, semejante o diferente) entre propiedades de otra clase de objetos, para concluir que también puede existir correspondencia en otras relaciones con respecto a otras propiedades de esas mismas clases. Cuando dos o más conjuntos tienen sendas relaciones entre propiedades que se pueden hacer corresponder biunívocamente, entonces son análogos, con respecto a esas relaciones; y las relaciones mismas constituyen una analogía entre dichos conjuntos. Entre dos conjuntos análogos habrá, en general, más de una analogía. Por consiguiente, cuando se ha logrado establecer una analogía entre dos conjuntos, es de conjeturar que existan otras analogías. Cuando se han reconocido varias analogías entre dos conjuntos, la inferencia por analogía estriba en suponer que otras relaciones entre propiedades menos conocidas de esos conjuntos, también son análogas. El grupo de analogías que ya han sido determinadas, constituirá el grupo de analogías conocidas; y la totalidad de analogías, determinadas o no, que vinculen a dos conjuntos, formará el grupo de analogías existentes. Tal consideración mantiene siempre abierta la posibilidad

de descubrir nuevas analogías entre esos conjuntos. Entonces, la fórmula general de la inferencia por analogía es la siguiente:

Si dos conjuntos son análogos, porque ya se tiene un grupo de analogías conocidas entre ellos y, luego, se encuentra otra relación entre las propiedades de los elementos de uno de esos conjuntos, entonces, se considera que posiblemente dicha relación pertenece al grupo de analogías existente entre ambos conjuntos y, por consiguiente, se infiere que en el otro conjunto existe una relación entre propiedades que corresponda biunívocamente a la relación en cuestión:

Así, por ejemplo, podemos examinar la siguiente inferencia por analogía:

Premisa: Los puntos y las rectas son análogos.

Premisa: Entre las relaciones análogas ya conocidas entre puntos y rectas, tenemos las siguientes:

a) trazar una recta que pase por un punto, es una operación análoga a la de marcar un punto sobre una recta;

b) determinar un punto por la intersección de dos rectas, es una operación análoga a la determinación de una recta uniendo dos puntos; y,

c) dos puntos son idénticos cuando, y sólo cuando, sus coordenadas o sus ecuaciones se encuentran en dependencia lineal y, análogamente, dos rectas son idénticas cuando, y sólo cuando, sus coordenadas o sus ecuaciones se encuentran en dependencia lineal.

Premisa: Tres puntos son colineales cuando, y sólo cuando, sus coordenadas o sus ecuaciones se encuentran en dependencia lineal.

Conclusión: Tres líneas son concurrentes cuando, y sólo cuando, sus coordenadas o sus ecuaciones se encuentran en dependencia lineal.

Otra ilustración la tenemos en el caso de la analogía existente entre el paralelogramo rectangular y el paralelepípedo rectangular. Como es sabido, el paralalogramo es una figura plana de cuatro lados tales que, por parejas de opuestos, son paralelos y de igual longitud y que, al ser rectángulo como en este caso, tiene sus cuatro ángulos rectos. Por su parte, el paralelepípedo es una figura sólida con seis caras tales que, por parejas de opuestas, son iguales y paralelas y que, al ser rectángulo como en este caso, todos sus ángulos diedros son rectos. Pues bien, efectivamente, existe una correspondencia biunívoca entre las relaciones de los lados del paralelogramo y las relaciones de las caras del paralelepípedo. Cada uno de los cuatro lados del paralelogramo es paralelo a otro lado y perpendicular a los dos restantes; mientras que, cada una de las seis caras del paralelepípedo es paralela a otra cara y perpendicular a las cuatro restantes. Por otra parte, los lados del paralelogramo forman cuatro parejas de lados adyacentes y perpendiculares entre sí; en tanto que las aristas del paralelepípedo forman ocho tríadas de aristas adyacentes y respectivamente perpendiculares. Entonces, con apoyo en esas analogías conocidas, se puede establecer la siguiente inferencia por analogía:

Premisa: El paralelogramo rectangular es análogo al paralelepípedo rectangular.

Premisa: Cada una de las dos diagonales del paralelogramo rectangular es igual a la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de los dos lados adyacentes y perpendiculares entre sí (en virtud del Teorema de Pitágoras).
Conclusión: Cada una de las cuatro diagonales del parelepídedo rectangular es igual a la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de tres aristas adyacentes y respectivamente perpendiculares (que viene a ser un análogo del Teorema de Pitágoras, para las figuras sólidas).

La conclusión de una inferencia por analogía se establece siempre en el nivel de la posibilidad. Por lo tanto, dicha conclusión es una hipótesis que tendrá que ser sometida a la verificación de la experiencia y a la demostración racional, mediante otros procedimientos. Por lo demás, la probabilidad de que se pueda cumplir una conclusión obtenida por analogía, se incrementará en razón directa con el aumento en el número de relaciones análogas conocidas entre los conjuntos con los cuales se trabaje. También aumentará esa probabilidad, cuando sea posible agregar otros conjuntos análogos. En ese sentido, podemos examinar, por ejemplo, la siguiente inferencia por analogía:

Premisa: Un triángulo es análogo a un segmento de recta.
Premisa: El centro de gravedad de un segmento de recta coincide con el centro de gravedad de un sistema formado por dos partículas materiales de masas iguales, colocadas en los extremos de dicho segmento.
Conclusión: El centro de gravedad de un triángulo coincide con el centro de gravedad de un sistema formado por tres partículas materiales de masas iguales, situadas en los vértices de dicho triángulo.

Pues bien, esa misma conclusión resultará más probable, si agregamos otra figura análoga al segmento de recta y al triángulo como lo es el tetraedro, esto es, una figura sólida con cuatro caras que, necesariamente, son todas ellas triángulos. Además, podemos hacer un despliegue de otras analogías existentes entre ellos. Desde luego, tenemos efectivamente que el segmento de recta es la figura más simple que existe en una dimensión; mientras que el triángulo es la figura cerrada con lados rectilíneos más simple que existe en el plano; y, por su parte, el tetraedro es la más simple de las figuras existentes en el espacio, con caras planas. El segmento de recta posee una dimensión y está limitado por dos elementos carentes de dimensión, que son sus puntos extremos. El triángulo tiene dos dimensiones y está limitado por tres elementos sin dimensión, que son sus vértices, I por tres elementos de una dimensión, que son sus lados. Por su parte, el tetraedro tiene tres dimensiones y se encuentra limitado por cuatro elementos sin dimensión, que son sus vértices, por seis elementos de una dimensión, que son sus aristas, y por cuatro elementos de dos dimensiones, que son sus caras. En esas condiciones, podemos establecer otra inferencia por analogía cuya conclusión tendrá una probalidad mayor, como es la siguiente:

Premisa: Un triángulo es análogo a un segmento de recta.
Premisa: Un tetraedro es análogo a un triángulo.
Premisa: La longitud de un segmento de recta es igual a la distancia entre sus puntos extremos.

Premisa: El área de un triángulo es igual a la mitad del producto de su base por la altura.
Conclusión: El volumen de un tetraedro es igual a un tercio del producto del área de la base por la altura.

De manera semejante, podemos llevar más adelante la inferencia establecida antes, acerca del centro de gravedad del triángulo, utilizando esa conclusión como premisa para determinar por analogía el centro de gravedad de un tetraedro, de la manera que sigue:

Premisa: Un triángulo es análogo a un segmento de recta.
Premisa: Un tetraedro es análogo a un triángulo.
Premisa: El centro de gravedad de un segmento de recta coincide con el centro de gravedad de un sistema formado por dos partículas materiales de masas iguales, colocadas en los extremos de dicho segmento.
Premisa: El centro de gravedad de un triángulo coincide con el centro de gravedad de un sistema formado por tres partículas materiales de masas iguales, situadas en los vértices de dicho triángulo.
Conclusión: El centro de gravedad de un tetraedro coincide con el centro de gravedad de un sistema formado por cuatro partículas materiales de masas iguales, colocadas en los vértices de dicho tetraedro.

Por otro lado, cuando llegamos a determinar con precisión la ubicación del centro de gravedad en el segmento de recta primero y, luego en el triángulo, también podemos determinar la ubicación exacta del centro de gravedad del tetraedro, mediante una inferencia por analogía, tal como se muestra a continuación:

Premisa: Un triángulo es análogo a un segmento de recta.
Premisa: Un tetraedro es análogo a un triángulo.
Premisa: El centro de gravedad de un segmento de recta se encuentra ubicado en el punto que divide la distancia entre sus dos puntos extremos conforme a la razón: $\frac{1}{1}$, o sea, a la mitad de esa distancia.
Premisa: El centro de gravedad de un triángulo está ubicado en el punto que divide la distancia entre el vértice y el centro de gravedad del lado opuesto, conforme a la razón: $\frac{2}{1}$, o sea, a la tercera parte de esa distancia contada desde la base.
Conclusión: El centro de gravedad de un tetraedro se encuentra situado en el punto que divide la distancia comprendida entre cada vértice y el centro de gravedad de la cara opuesta, conforme a la razón: $\frac{3}{1}$, o sea, a la cuarta parte de esa distancia a partir de la cara opuesta.

Entre las diversas propiedades que tiene la analogía, vamos a referirnos especialmente a aquellas que nos sirven para establecer inferencias. Desde luego, la analogía es *reflexiva,* lo cual significa que todo conjunto es análogo con respecto a sí mismo, o sea que, para cualquier conjunto S, se cumple la condición de que:

$$S :: S \,.$$

Con base en esa propiedad, se desprende otra igualmente importante, como es la de que todo subconjunto es análogo a cualquiera otro subconjunto del mismo conjunto y, por supuesto, también es análogo al conjunto al cual pertenece.

La analogía tiene la propiedad de ser *simétrica*, lo cual quiere decir que si un conjunto es análogo a otro conjunto, entonces el segundo conjunto es también análogo al primero, o sea que, si dos conjuntos cualesquiera S y T son análogos, siempre se cumple la condición:

$$(S :: T) \longleftrightarrow (T :: S)$$

Aplicando esas propiedades de la analogía es como se desprende, rigurosamente, la posibilidad de interpolar y de extrapolar en un conjunto, con tal que sean conocidas algunas de las relaciones entre las propiedades de sus elementos. En efecto, partiendo de las relaciones ya determinadas entre las propiedades conocidas de los elementos de un conjunto, podemos inferir que en los elementos desconocidos del mismo conjunto se cumplen igualmente esas mismas relaciones, debido a que las partes desconocidas del conjunto son análogas a la parte conocida. Entonces, si conocemos los valores de las variables de una función para el caso de los elementos conocidos, podemos emplear la misma función para calcular los valores de las variables en cualesquiera otros casos, ya sea que se encuentren comprendidos dentro de los límites experimentados (lo que constituye una interpolación) o que estén fuera de dichos límites (lo cual es una extrapolación). En cierto sentido, la inferencia inductiva por amplificación es un caso particular de la inferencia por analogía, ya que la relación encontrada para un grupo de miembros de la clase, es transladada por analogía al conjunto total de los miembros de la misma clase, lo cual constituye justamente la conclusión de ese tipo de inferencia. Algo semejante ocurre en el caso de la inferencia inductiva por reconstrucción, puesto que los testimonios que se conservan de un acontecimiento pasado, por numerosos que puedan ser, nunca son completos y, por lo tanto, es necesario suplir los datos faltantes por medio de conclusiones inferidas por analogía.

Otra propiedad de la analogía es la *transitividad por transferencia*, consistente concretamente en este caso en que, cuando un conjunto es análogo a otro conjunto, a la vez que este segundo conjunto es análogo a un tercero, entonces el primer conjunto y el tercero también son análogos, o sea, que:

$$((S :: T)\ (T :: U)) \longleftrightarrow (S :: U).$$

Esta propiedad de la analogía constituye el fundamento de la teoría de los modelos. Ya que, como se sabe, los modelos que se utilizan en la investigación científica son representaciones análogas al conjunto original que se está estudiando. Por lo tanto, el funcionamiento del modelo viene a ser equivalente al funcionamiento del original, y recíprocamente; no obstante que los elementos del modelo sean, en la mayoría de los casos, diferentes a los elementos del conjunto original.

La analogía también tiene la propiedad de ser *transitiva por equiparación*, lo cual significa concretamente aquí que, si dos conjuntos son análogos a un tercer conjunto, respectivamente, entonces los dos primeros conjuntos también son análogos entre sí, o sea, que:

$$((S :: W)\ (T :: W)) \longleftrightarrow (S :: T).$$

Pues bien, la conjugación de la transitividad por transferencia con la transitividad por equiparación, pone de manifiesto el carácter conservativo de la analogía y permite extenderla de un conjunto a otros, de una manera ilimitada; claro está, siempre que se cumplan en cada caso las condiciones necesarias para que resulten ser análogos. Así el descubrimiento de que un cierto conjunto K es análogo a otro conjunto J, del cual ya se sabe que es análogo a otro conjunto H, lleva a concluir que ese conjunto K también es análogo al conjunto H. Igualmente, el descubrimiento de que un conjunto M es análogo al conjunto K, cuando ya se sabe que otro conjunto N es igualmente análogo a K, conduce a la conclusión de que M es análogo a N. De esa manera, la analogía permite establecer una verdadera celosía de conjuntos análogos, que es susceptible de extenderse en todos sentidos indefinidamente. En tales condiciones tenemos que, entre los conjuntos análogos, cada uno de ellos resulta ser un modelo de todos y cada uno de los otros conjuntos, inclusive de sí mismo.

Si dos conjuntos son análogos, entonces la existencia de una relación entre las propiedades de los elementos del primer conjunto (A, B, C, . . .), implica la existencia de otra relación entre las propiedades de los elementos del segundo conjunto (X, Y, Z,. . .), que es análoga a la primera, y recíprocamente. La relación entre las propiedades de los elementos del segundo conjunto puede ser la misma que la relación entre las propiedades de los elementos del primer conjunto, pero no necesariamente. Esa propidad de *isodinamia* de la analogía, se expresa así:

$$\left(\frac{A}{B}\right) \longleftrightarrow \left(\frac{A}{B} :: \frac{X}{Z}\right)$$

Dicha propiedad se utiliza para establecer muchas de las inferencias por analogía. En particular, en el caso de las inferencias inductivas por reconstrucción, es frecuente el empleo de tal propiedad, para obtener las conclusiones por analogía que se requieren.

La existencia de una relación entre las propiedades de los elementos de un conjunto determinado (A, B, C, D, . . .), implica la existencia de otra relación análoga entre las propiedades de los elementos del mismo conjunto. Esa propiedad de *involución,* se expresa así:

$$\left(\frac{A}{B}\right) \longleftrightarrow \left(\frac{A}{A} :: \frac{C}{D}\right)$$

siendo posible que las propiedades relacionadas coincidan parcialmente, o sea, que:

$$\left(\frac{A}{B}\right) \longleftrightarrow \left(\frac{A}{B} :: \frac{B}{C}\right);$$

Esa propiedad es sumamente útil para descubrir relaciones análogas a las ya conocidas en un conjunto, con respecto a otras propiedades desconocidas o poco conocidas de los elementos del mismo conjunto.

La existencia de una relación entre las propiedades de los elementos de un conjunto (A, B. . . K, L, . . . R, S. . .), implica la existencia de otra relación análoga entre las propiedades de los elementos de cada uno de sus subconjuntos Tal cosa se puede expresar así:

$$\left(\frac{A}{B} \longleftrightarrow \frac{A}{B} :: \frac{K}{L} :: \frac{R}{S} :: \frac{F}{G} :: \frac{V}{W}\right)$$

Esa propiedad de *parcialidad* se conjuga bien con la anterior, para coadyuvar a la búsqueda de relaciones análogas entre las propiedades de los elementos de un mismo conjunto, a partir de las relaciones ya conocidas entre propiedades.

Para ilustrar las maneras de utilizar las propiedades de la analogía que acabamos de exponer, en el establecimiento de inferencias y la consiguiente obtención de conclusiones, vamos a trabajar con tres conjuntos, que son: 1) el conjunto de los números racionales; 2) el conjunto de los números enteros; y, 3) el conjunto de los números naturales. Los números racionales son todos aquellos que se pueden expresar por medio de una razón, o sea, mediante una fracción que tenga como numerador a cualquier número entero, positivo o negativo, y como denominador también' a cualquier número entero, positivo o negativo (el cual, por supuesto, puede ser el mismo que el numerador). Por lo tanto, son números racionales todos los números enteros y fraccionarios, positivos y negativos, incluyendo el cero. Por otra parte, en el conjunto de los números enteros tenemos a todos ellos, ya sean positivos o negativos. Y, en el conjunto de los números naturales tenemos a los enteros positivos, o sea, a la serie: 0, 1, 2, 3, 4,... En nuestro caso, vamos a representar a los números racionales por las primeras letras del alfabeto, a los números enteros por las letras intermedias, y a los números naturales por las últimas letras. Entonces, los tres conjuntos quedarán expresados de la siguiente manera:

Racionales: (A, B, C,...),
Enteros: (K, L, M,...), y
Naturales: (R, S, T,...).

Como es fácil esclarecer, el conjunto de los *Naturales* está incluido como subconjunto en los *Enteros*, a la vez que este último se encuentra incluido como subconjunto en los *Racionales*. Por consiguiente, el conjunto de los *Naturales* es también subconjunto de los *Racionales*. Y, por tales razones, los tres conjuntos son análogos entre sí.

Partiremos de la suposición de que ya conocemos algunas de las relaciones entre las propiedades de los elementos del conjunto de los *Racionales*, que se cumplen para la operación de adición, siendo ellas las que siguen:

I La *clausura*: para cualesquiera A y B, existe la suma: $A + B = F$; y F es también elemento de los *Racionales*.
II La *conmutación*: el orden de los sumandos no altera la suma, o sea: $A + B = B + A$.
III La *asociatividad*: la manera de asociar los sumandos no altera la suma, es decir: $A + (B + C) = (A + B) + C$.
IV El *elemento neutro*: Existe un elemento neutro tal que, para todo A, se cumple: $A + 0 = A$.
V La *operación inversa*: para cualesquiera A y B, existe la operación inversa a la suma: $A - B = D$; y D es también un elemento de los *Racionales*.

En tal situación, consideremos ahora otra operación que es posible ejecutar entre los *Racionales*, como es la multiplicación. Desde luego, advertimos que el resultado de esa operación, el producto, tiene que ser un

número racional, para que la operación sea universalmente posible dentro del conjunto. Y, el cumplimiento de esa condición, implica que para la multiplicación se cumple la relación de clausura, por lo cual podemos expresarla explícitamente:

I* La *clausura*: para cualesquiera A y B, existe la multiplicación: $A \bullet B = G$; y G es también elemento de los *Racionales*.

Como es fácil advertir, esa relación es análoga a la clausura de la adición entre los racionales. Entonces, con base en esa analogía, podemos considerar que la adición y la multiplicación entre *Racionales* son operaciones análogas y, por consiguiente, que es posible establecer sendas inferencias que nos producen como conclusiones, las siguientes relaciones para la multiplicación:

II* La *conmutación*: el orden de los factores no altera el producto, o sea: $A \bullet B = B \bullet A$.

III* La *asociatividad*: la manera de asociar los factores no altera el producto, es decir: $A \bullet (B \bullet C) = (A \bullet B) \bullet C$.

IV* El *elemento neutro*: existe un elemento neutro tal que, para todo A, se cumple: $A \bullet 1 = A$.

V* La *operación inversa*: para cualesquiera A y B, existe la operación inversa a la multiplicación:

$\frac{A}{B} = E$; y E es también elemento de los *Racionales*.

Como se sabe, las relaciones anteriores efectivamente se cumplen para la multiplicación entre los *Racionales*.

Ahora, con apoyo en la analogía existente entre los *Enteros* y los *Racionales*, procederemos a establecer las inferencias correspondientes, para obtener como conclusiones las relaciones análogas para la adición entre los *Enteros*, que son:

I** La *clausura*: para cualesquiera K y L, existe la suma: $K + L = P$; y P también es elemento de los *Enteros*.

II** La *conmutación*: el orden de los sumandos no altera la suma, o sea: $K + L = L + K$.

III** La *asociatividad*: la manera de asociar los sumandos no altera la suma, es decir: $K + (L + M) = (K + L) + M$.

IV** El *elemento neutro*: existe un elemento neutro tal que, para todo K, se cumple: $K + 0 = K$.

V** La *operación inversa*: para cualesquiera K y L, existe la operación inversa a la suma: $K - L = Q$; y Q es también elemento de los *Enteros*.

Las relaciones antes mencionadas se cumplen efectivamente para la adición entre los *Enteros*.

Pasamos, entonces, a encontrar las relaciones correspondientes a la multiplicación de los *Enteros*, basados en la analogía entre los *Racionales* y los *Enteros*, lo mismo que en la analogía entre la adición y la multiplicación. Ejecutando las inferencias correspondientes, llegamos a las siguientes conclusiones:

I*** La *clausura*: para cualesquiera K y L, existe la multiplicación: $K \bullet L = N$; y N es también elemento de los *Enteros*.

II*** La *conmutación*: el orden de los factores no altera el producto, o sea: $K \bullet L = L \bullet K$.

III*** La *asociatividad*: la manera de asociar los factores no altera el producto, es decir:
$K \bullet (L \bullet M) = (K \bullet L) \bullet M$.

IV*** El *elemento neutro*: existe un elemento neutro tal que, para todo K, se cumple: $K \bullet 1 = K$.

Las cuatro relaciones anteriores se cumplen efectivamente para la multiplicación de los *Enteros*. Pero, si seguimos adelante con las inferencias por analogía, encontramos que en este caso la *operación inversa* no se cumple universalmente para los *Enteros*. De hecho, la operación: $\frac{K}{L}$ solamente es posible cuando K es un múltiplo de L, incluyendo el caso en que: $K = L$. Semejante resultado, el de haber obtenido una conclusión que no se cumple, es ilustrativo de lo que puede ocurrir con una inferencia por analogía. Por consiguiente, nunca debemos olvidar que la conclusión inferida por analogía es solamente una hipótesis, que es indispensable comprobar por medio de otro procedimiento, sin que nunca se pueda aceptar sin más.

Sigamos adelante. Aprovechando ahora la analogía existente entre los *Naturales* y los *Enteros*, podemos formular las inferencias correspondientes para obtener las relaciones que se cumplen para la adición entre los *Naturales*, cuyas conclusiones son:

I**** La *clausura*: para cualesquiera R y S, existe la suma: $R + S = U$; y U es también un elementos de los *Naturales*.

II**** La *conmutación*: el orden de los sumandos no altera la suma, o sea: $R + S = S + R$.

III**** La *asociatividad*: la manera de asociar los sumandos no altera la suma, es decir:
$R + (S + T) = (R + S) + T$.

IV**** El *elemento neutro*: existe un elemento neutro tal que, para todo R, se cumple: $R + 0 = R$.

Las cuatro relaciones antes dichas se cumplen efectivamente para la adición entre los *Naturales*. Sin embargo, continuando adelante con las inferencias por analogía, encontramos que en este caso no se cumple universalmente la *operación inversa*. En realidad, la operación: $R - S$, solamente se puede ejecutar entre los *Naturales* cuando el minuendo R es mayor o, al menos, igual que el sustraendo S. Lo cual vuelve a ilustrarnos acerca de que una hipótesis obtenida como conclusión de una inferencia por analogía, puede resultar que no se cumpla al someterla a prueba.

Vamos ahora a establecer por analogía las relaciones correspondientes a la multiplicación de los *Naturales*, con base en la analogía entre los *Enteros* y, también, a la analogía entre la adición y la multiplicación de *Enteros*. Ejecutando las inferencias respectivas, obtenemos las conclusiones siguientes:

I***** La *clausura*: para cualesquiera R y S, existe la multiplicación: $R \bullet S = W$; y W es también elemento de los *Naturales*.

II***** La *conmutación*: el orden de los factores no altera el producto, o sea: $R \bullet S = S \bullet R$.

III***** La *asociatividad*: la manera de asociar los factores no altera el producto, es decir:
$R \bullet (S \bullet T) = (R \bullet S) \bullet T$.

IV***** El *elemento neutro*: existe un elemento neutro tal que, para todo R, se cumple: $R \bullet 1 = R$.

Esas cuatro relaciones se cumplen efectivamente para la multiplicación de los *Naturales*. Como es sabido, la operación inversa de la multiplicación o sea, la división, no existe universalmente para los *Naturales*.

Todavía examinaremos otra relación existente en la multiplicación de los *Enteros*, que es la llamada *regla de los signos* para el resultado de una operación de multiplicación. Dichas regla la podemos expresar de esta manera:

VI*** *La regla de los signos*: en toda multiplicación entre dos factores, si los signos de dichos factores son iguales, entonces el producto tiene signo positivo; y, si los signos de los factores son desiguales, entonces el producto tiene signo negativo.

Como no es muy difícil de advertir, esa regla sirve también para un número cualquiera de factores; ya que, en tal caso, es suficiente con ir asociando por parejas los factores, para obtener finalmente el signo del producto total.

Pues bien, considerando las conclusiones a las cuales hemos arribado antes, podemos darnos cuenta de que, además de que los *Enteros* y los *Naturales* son conjuntos análogos, también son análogas las operaciones de adición y de multiplicación entre los elementos de cada uno de dichos conjuntos, respectivamente. Por otra parte, podemos observar que los signos *positivo* y *negativo* de los *Enteros*, son análogos a los caracteres *par* e *impar* de los *Naturales*, o sea al hecho de que los números naturales sean múltiplos de *2* o no lo sean. Entonces, con base en esas analogías y utilizando como premisa la *regla de los signos* para la multiplicación de los *Enteros*, podemos establecer una inferencia por analogía, que nos lleve a formular como conclusión una *regla de paridad* para la adición de los *Naturales*. Dicha regla se puede expresar así:

VI**** La *regla de paridad*: en toda suma entre dos sumandos, si ambos son pares o ambos son impares, entonces la suma es par; y, si uno de los sumandos es par y el otro es impar, entonces la suma es impar.

Esta regla se cumple efectivamente para toda suma de los *Naturales*. Y no resulta muy difícil extender su aplicación a un número cualquiera de sumandos, haciendo asociaciones por parejas de sumandos, hasta hallar la suma total.

En cuanto a la paridad o la imparidad del producto de una multiplicación de *Naturales*, también podemos establecer una *regla de paridad*, con el enunciado siguiente:

VI***** La *regla de paridad*: en toda multiplicación entre dos factores, si ambos son pares o uno es par y el otro es impar, entonces el producto es par; y, si ambos factores son impares, entonces el producto es impar.

Sin embargo, esta *regla de paridad* no se puede extender, retrotrayéndola mediante una inferencia por analogía, como una *regla de los signos* para la adición de los *Enteros*. Nos encontramos, por lo tanto, ante otra ocasión en donde la hipótesis que podríamos formular por analogía, no se cumple en la realidad.

Con las inferencias anteriores, esperamos haber mostrado bien la gran fecundidad que tiene el razonamiento por analogía. Al propio tiempo, también esperamos haber puesto en claro cómo es que las conclusiones obteni-

das mediante la analogía, siempre son únicamente juicios posibles, esto es, hipótesis; las cuales es indispensable someter a prueba, valiéndose de algún otro procedimiento racional o experimental, antes de admitirlas como conocimientos. Es cierto que esa es una característica general de todas las conclusiones, independientemente del tipo de inferencia que se haya empleado para obtenerlas. Pero, debemos insistir en que, en el caso de la inferencia por analogía, debido precisamente a la riqueza y la variedad de las conclusiones que sugiere, es necesario ser muy estricto y cumplir, en todas las ocasiones, con la condición de poner a prueba las conclusiones logradas.

La analogía puede ser adoptada, inclusive, como método general para el estudio de una disciplina entera. De esa manera, Huygens utilizó la analogía entre el sonido y la luz; Van't Hoff, la analogía entre los gases y los cuerpos en solución; Maxwell,la analogía entre la luz y la oscilación de las ondas electromagnéticas. Igualmente, para estudiar la forma en que se transmiten los estímulos a través del sistema nervioso, se ha establecido la hipótesis general de que dicha transmisión es análoga a la transmisión de información en un sistema electrónico. De modo semejante, los procesos cibernéticos han sido considerados como base para estudiar, por analogía, ciertos procesos neurofisiológicos más complejos que la simple comunicación de los estímulos. Por otra parte, en la física ha resultado sumamente fructuoso el establecimiento de analogías generales entre dos clases diferentes de procesos, como sucede actualmente con los numerosos estudios de hidrodinámica y, en general, de dinámica de los fluídos, que se efectúan tomando como base su analogía con los procesos electrodinámicos. En fin, la medicina y la farmacología son disciplinas científicas en las cuales el conocimiento avanza fundamentalmente con apoyo en la realización continua de inferencias por analogía.

La inferencia por analogía admite una amplísima variación en el grado de rigor con que se puede ejecutar, según ya lo hemos visto. Por esa característica, la inferencia por analogía resulta ser extraordinariamente fecunda, con tal que se tenga siempre presente el grado de rigor que ha sido factible o conveniente adoptar y, por ende, el grado de plausibilidad que atañe a la conclusión. Ya que, en efecto, la conclusión puede variar dentro de una amplia gama de posibilidades, que va desde ser una mera conjetura hasta constituir una hipótesis sumamente probable. De todas maneras, la inferencia por analogía es una de las formas de pensar que se adapta mejor a la fluidez, la amplitud y el ritmo que tiene la actividad racional. Inclusive las correspondencias vagas, ambiguas, distantes, incompletas o insuficientemente esclarecidas, pueden servir de base para establecer, o intentar al menos, inferencias por analogía. Y las conclusiones inferidas de esa manera resultan útiles, con tal que sean consideradas justamente de acuerdo con las condiciones y dentro del nivel en el cual fueron establecidas. Más todavía, en todos aquellos casos en los cuales un investigador científico logra anticipar la solución de un problema teórico, adelantándose de ese modo a su demostración racional, o a su verificación experimental, lo que sucede es que ha sido capaz de realizar una serie de inferencias por analogía, muchas veces con gran rapidez, conjugando en ellas sus experiencias y conocimientos con la osadía de su inteligencia y el poder creador de su imaginación. En consecuencia, lo que tantas veces se ha dado en llamar con ese término indefinible que es la "intuición", viene a ser simple y llanamente la ejecución venturosa de una cadena de inferencias por analogía.

Se imprimió el día 27 de Abril de 1979 en los talleres de Ediciones Sol, Sánchez Colín 20, México 16, D. F., y terminado en los talleres de ENCUADERNACION SAGITARIO, S. A., Benito Juárez 92-A, México 13, D. F.

Se imprimieron 3,000 ejemplares

BIOLOGÍA GENERAL. Bajovski y Makarov
CURSO SUPERIOR DE ECONOMÍA POLÍTICA (2 vols.)
DERECHO INTERNACIONAL PÚBLICO. Y. A. Korovin
DIALÉCTICA DE LA FÍSICA. Eli de Gortari
ELECTRICIDAD. Kalshnikov
ESBOZO DE HISTORIA UNIVERSAL. Juan Brom
ÉTICA. Adolfo Sánchez Vázquez
GEOLOGÍA GENERAL. M. Chariguin
INICIACIÓN A LA LÓGICA. Eli de Gortari
INTRODUCCIÓN A LA ELECTRICIDAD Y ÓPTICA. N. H. Frank
INTRODUCCIÓN A LA LÓGICA DIALÉCTICA. Eli de Gortari
LÓGICA GENERAL. Eli de Gortari
METODOLOGÍA; UNA DISCUSIÓN Y OTROS ENSAYOS SOBRE EL MÉTODO. Eli de Gortari
PRINCIPIOS DE LA PSICOLOGÍA GENERAL. S. L. Rubinstein
PSICOBIOLOGÍA. Alberto L. Merani
PSICOLOGÍA. Smirnov, Leontiev y otros
PSICOLOGÍA GENÉTICA. Alberto L. Merani
PSIQUIATRÍA. I. F. Sluchevski

Esta obra ha sido preparada con especial cuidado para servir como iniciación al estudio del método científico.

En la primera parte, se hace una caracterización del conocimiento científico, poniendo de relieve cómo el método es creado y se desarrolla en la propia actividad de la ciencia, de tal manera que es también un conocimiento que avanza continuamente. Luego se determina el carácter instrumental del método, diferenciándolo clara y distintamente de las técnicas; y se presenta un cuadro general del proceso que se sigue en la investigación científica. En seguida, se examinan rigurosamente algunas nociones críticas de la ciencia, como son la abstracción, la conceptuación, la definición y el descubrimiento de las categorías. Después, se introducen las fórmulas elementales: leyes, teorías, principios, postulados, fundamentos, proposiciones, teoremas y empiremas. En la segunda parte, se hace un análisis detallado del marco de referencia, las hipótesis, las explicaciones y las predicciones. La tercera parte trata de las funciones principales que constituyen el dominio de las operaciones metódicas y de las reglas que se aplican cuando ejecutamos una observación, un experimento y un razonamiento. Finalmente, la cuarta parte se refiere a la metodización de los razonamientos discursivos, estableciendo las condiciones necesarias y suficientes para realizar inferencias concluyentes o hipotéticas de carácter deductivo, inductivo, transductivo y analógico.

EL METODO DE LAS CIENCIAS

eli de gortari

